



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## VOLBA MATERIÁLU PRO RÁFKY JÍZDNÍCH KOL

MATERIAL SELECTION FOR A BICYCLE RIMS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE  
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Vojtěch Vaňhara

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. Karel Němec, Ph.D.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav materiálových věd a inženýrství

Akademický rok: 2014/2015

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Vojtěch Vaňhara

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Volba materiálu pro ráfky jízdních kol**

v anglickém jazyce:

### **Material selection for a bicycle rims**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zpracování přehledu o materiálech v současnosti používaných k výrobě ráfků jízdních kol a následné vyhodnocení hledisek vhodnosti jejich volby pro různé typy ráfků.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Přehled materiálů používaných na ráfky jízdních kol
- 2) Popis vlastností jednotlivých materiálů
- 3) Rozbor hledisek volby materiálů pro ráfky
- 4) Definice závěrů vyplývajících z tématu

Seznam odborné literatury:

- 1) Ptáček, L.: Nauka o materiálu II. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002., 392 s., ISBN 80-7204-248-3
- 2) Sedláček, V. : Neželezné kovy a slitiny. 1.vyd. Praha: SNTL, 1979, 398 s.
- 3) Chung, Deborah, D. L. : Composite materials: functional materials for modern technologies. London: Springer, 2003. 289 s., ISBN 185233665X
- 4) Ashby, M. F.: Materials selection in mechanical design. 3rd ed. Oxford, Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 603 s., ISBN 0-7506-6168-2

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Karel Němec, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 2.2.2015

L.S.

---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
Ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
Děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato závěrečná práce je zaměřena na problematiku volby materiálu pro ráfky jízdních kol. Jejím obsahem je základní charakteristika jízdního kola, rozbor a rozdělení materiálů používaných na ráfky kol dle stanovených kritérií a výsledné srovnání těchto materiálů.

### **Klíčová slova**

volba materiálu, jízdní kolo, zatížení, slitiny hliníku, rozdělení ocelí, kompozitní materiály, srovnání materiálů

## **ABSTRACT**

This final work is focused on problems with the selection of the material. It contains a basic characteristic of a bicycle, divides the materials used for wheel rims according to the established criteria and the comparison of these materials.

### **Key words**

selection of the material, bicycle wheel, load, aluminium alloys, steel grades, composite materials, comparison of the materials

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

VAŇHARA, Vojtěch. *Volba materiálu pro ráfky jízdních kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 53 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D..

.

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Volba materiálu pro ráfky jízdních kol** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

---

Datum

---

Vojtěch Vaňhara

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto svému vedoucímu panu Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval svým rodičům za ochotu a pomoc při zpracování této práce.

## **OBSAH**

ABSTRAKT.....	4
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE.....	5
PROHLÁŠENÍ.....	6
PODĚKOVÁNÍ.....	7
OBSAH .....	8
ÚVOD .....	10
1    Volba materiálu .....	11
1.1    Technologické faktory .....	12
1.2    Ekonomické faktory .....	12
1.3    Funkční faktory .....	12
2    Cyklistická kola.....	14
2.1    Horská kola .....	14
2.2    Silniční kola.....	14
2.3    Sjezdová kola .....	15
2.4    Krosová a trekingová kola.....	15
3    jízdní kolo.....	16
3.1    Náboj .....	16
3.2    Osa.....	17
3.3    Ložiska .....	17
3.4    Výplet.....	18
3.4.1    Materiály drátů .....	18
3.4.2    Design výpletu.....	19
3.4.3    Svazování výpletu .....	19
3.5    Ráfky .....	20
3.5.1    Tvar ráfku .....	20
3.5.2    Výroba ráfku .....	21
4    Zatížení a selhání ráfků .....	22
4.1    Zatěžování .....	22
4.2    Kolaps a selhání kola.....	23
5    Materiály ráfků.....	24
5.1    Hliník.....	24
5.1.1    Vlastnosti hliníku .....	25
5.1.2    Slitiny hliníku.....	25
5.1.3    Tepelné zpracování slitin .....	26



5.1.4 Třídění slitin vhodných k tváření .....	28
5.2 Ocel .....	30
5.2.1 Prvky v slitině Fe + C.....	30
5.2.2 Rozdělení ocelí.....	32
5.2.3 Tepelné zpracování ocelí.....	34
5.2.3 Ocel pro cyklistiku .....	37
5.3 Kompozitní materiály.....	39
5.3.1 Historie kompozitů.....	39
5.3.2 Fáze v kompozitu .....	40
5.3.3 Vláknové kompozity .....	41
5.3.4 Uhlíkové vláknové kompozity .....	42
5.3.5 Matrice .....	42
5.3.6 Výroba kompozitních materiálů.....	43
6 Srovnání .....	44
7 závěr .....	46
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	50
SEZNAM PŘÍLOH.....	51

## ÚVOD

Jízdní kolo je v dnešní době součástí moderního životního stylu a provází nás od dětských let do dospělosti. Pro mnoho mladých lidí je kolo srdeční záležitostí, stává se součástí jejich osobnosti, opečovávaným členem rodiny i kamarádem na kterého se chtějí plně spolehnout.

Trvale rostou uživatelské požadavky kladené na vlastnosti a komponenty jízdních kol. Standardní rodinní zákazníci si mnohdy neuvědomují významný vliv materiálu na užité vlastnosti jednotlivých dílčích komponentů a tím i výslednou spolehlivost celého výrobku. Řídí se buď mainstreamovými prvky anebo se soustředí na nejnižší cenu výrobku. Kolo vidí pouze jako dopravní prostředek či spotřební předmět pro víkendový odpočinkový sport. Očekávají stabilní užitou hodnotu a vlastnosti, pro jejichž dosažení je dostačující základní technické vybavení. Ovšem v cyklistických kruzích platí jednoduché pravidlo: “co se točí, musí být co nejlehčí“. Mezi klíčové součásti jízdních kol, které mají vliv na funkčnost, jízdní vlastnosti, rychlost a váhu kola patří nepochybně ráfky. Cílem této práce je poskytnout maximální ucelené informace pro fundované rozhodování aktivním cyklistům a všem nadšencům, kteří se cyklistice nadstandardně věnují, řeší běžné problémy s kolem a snaží si ho upravit na vyšší technickou úroveň zvýšením kvality jeho komponentů. Laik pouhým pohledem oka nejspíše nepozná rozdíl mezi materiály použitými při výrobě ráfků. Současně by nezaznamenal rozdílné mechanické vlastnosti, plynoucí z charakteristických vlastností chemického složení materiálu. Smyslem práce mimo jiné je přiblížit možnosti a vlastnosti materiálů používaných na výrobu ráfků kol a také zhodnotit jejich mechanické a fyzikální vlastnosti.

Ráfek kola je specifická součást kola, která plní podstatnou funkci. Laickou veřejností jsou materiály na kola vnímány komplexně bez ohledu na odlišnost jednotlivých komponentů. Historicky byla kola vyráběna z oceli a ve velmi omezeném množství se vyskytovaly komponenty z jiných materiálů – například slitin hliníku. V současné době je trend opačný a pro výrobu kol i ráfků jsou používány v převážné míře hliníkové slitiny. Díky postupujícím technologickým možnostem a vývoji se cyklistika postupně setkává s dalšími materiály – kompozity, kterým se ve své práci také věnuji a jejichž představení bych rozhodně nechtěl opomenout.

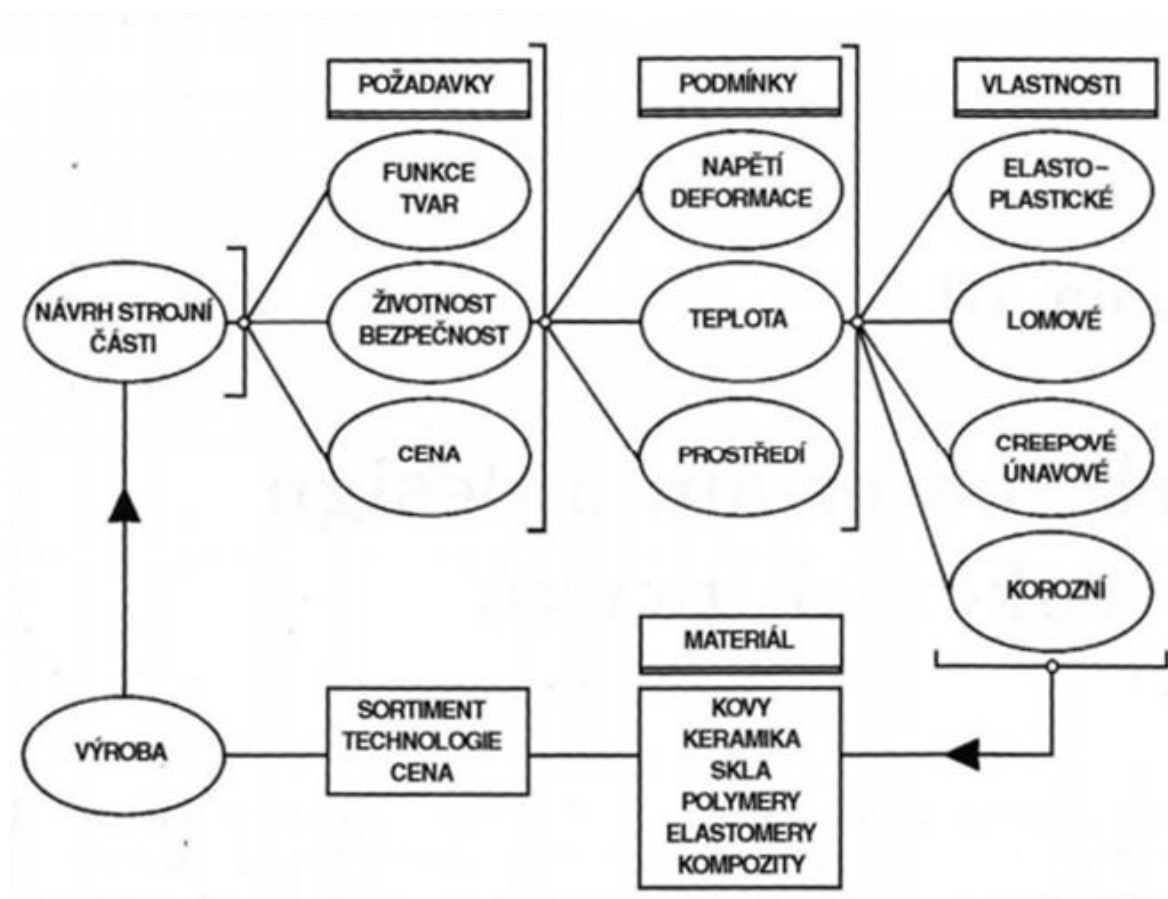
Zhodnocení a popis vlastností v souvislosti s použitým materiálem, účel a adekvátnost jeho užití, tvoří dohromady komplexní soubor údajů, které bych rád vyhodnotil. Cílem této práce je poskytnout průřezové informace vedoucí k optimálnímu a účelnému využití jednotlivých materiálů pro ráfky kol.

# 1 VOLBA MATERIÁLU

Výběr materiálu je krok při procesu vytváření jakéhokoli fyzického předmětu. V rámci návrhu výrobku je hlavním cílem minimalizovat náklady a současně splnit stanovené cíle vyráběného produktu. Systematický výběr nejvhodnějšího materiálu pro danou aplikaci začíná srovnáním vlastností a nákladů jednotlivých kandidátů. [1]

Pro správnou volbu materiálu je třeba brát v potaz více faktorů. Tyto faktory bychom mohli rozdělit do několika skupin:

- Technologické – výroba součástí
- Ekonomické – náklady na výrobu
- Funkční – typ namáhání, hmotnost, pracovní prostředí



Obr. 1.1 Jeden z přístupů volby materiálu. [30]

## 1.1 Technologické faktory

Výběr materiálu je úzce spjat s jeho následným zpracováním. Většina materiálů má svá specifika a proto je nutné dodržovat pro něj charakteristické technologické postupy.

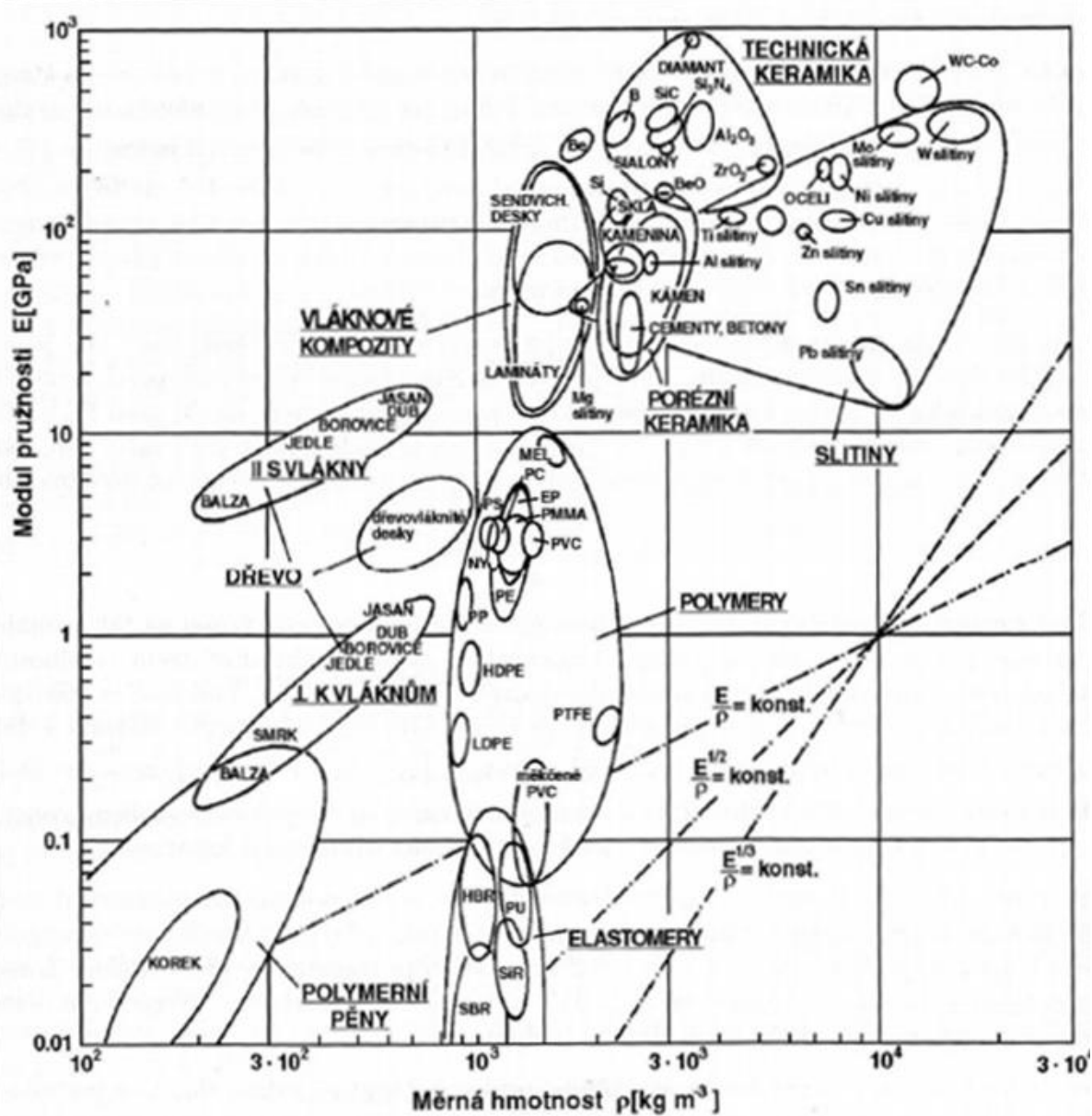
Volba materiálu je tedy závislá na možnostech výrobního procesu a konstrukci pracovních zařízení. Pokud zvolený materiál není vhodný pro dostupný proces výroby, je nutné přehodnotit mechanické požadavky kladené na součást, její konstrukci a přizpůsobitelnost výroby. Jedním z těchto požadavků může být například svařitelnost.

## 1.2 Ekonomické faktory

Výsledná cena výrobku je složena z několika částí. Tvoří ji jak přímé náklady, tak nepřímé náklady (režie) a zisková přírážka. Jedním z přímých nákladů je materiál. Nedílnou součástí přímých nákladů vynaložených na výrobek jsou také náklady související s manipulací či jeho dodatečným zpracováním. Pro správnou volbu je třeba zkombinovat všechny faktory, které vedou k optimalizaci celého procesu při zachování minimálních nákladů. Například při nízkých nákladech na nákup materiálu je nutné provést tepelné zpracování k dosažení požadovaných kvalit.

## 1.3 Funkční faktory

Jedním z nejdůležitějších parametrů pro správnou volbu materiálu jsou požadavky na funkčnost součásti. Tyto požadavky jsou vymezeny podmínkami pro mezní stav součásti s ohledem na materiál. Po určení mechanických vlastností (pevnosti, tuhosti, způsobu zatěžování, teplotě při zatěžování) vycházíme také z prostředí, ve kterém bude součást provozována. Zde je prioritní vliv teploty, vlhkosti, prašnosti a dalších. Jelikož je cyklistické kolo složeno z více typů materiálů, mohou mezi nimi také nastávat interakce. Snížení hmotnost a zvýšení tuhosti popisuje veličina měrná pevnost ( $R_m/\rho$ ). Dále se využívá měrné meze kluzu ( $R_{p0,2}/\rho$ ) a měrné hmotnosti ( $E/\rho$ ). K vyobrazení těchto závislostí nám slouží Ashbyho diagramy. [2]



Obr. 1.2 Ashbyho diagram závislosti modulu pružnosti na měrné hmotnosti. [2]

## 2 JÍZDNÍ KOLA

Při výběru ráfku a jeho materiálu je nutno brát v potaz použití kola. Nejrozličnější typy a šířky ráfků jsou charakteristické pro odlišné kategorie cyklistiky. Rozdílný je zde průměr ráfku, stejně tak i jeho šířka a profil.

### 2.1 Horská kola

Horská kola nebo-li MTB (z anglického mountaine bike) jsou kola většinou s odpruženou vidlicí o zdvihu 80-150 mm. Existují varianty bez zadního tlumiče (tzv. hard tail) a se zadním tlumičem (celoodpružené kolo). Tato kola jsou dimenzována pro jízdu v lehkém terénu, po polních cestách a na kamenitých trailech. Kola jsou kompletována s ohledem na nízkou váhu a celkovou tuhost. Časté je užití bezdušových systémů kol, kdy je ráfek s pláštěm důkladně utěsněn od okolí. Jako ochrana proti defektu je použito tmelů, což jsou různá latexová "mléka" či silikonové roztoky.



Obr. 2.1 horské kolo značky On-One 45650b. [31]

### 2.2 Silniční kola

Silniční kola jsou stavěna pro jízdu po asfaltových a zpevněných cestách. Je zde snaha kombinovat minimální váhu s maximální tuhostí. Tato kola jsou bez jakéhokoliv tlumení. Je zde brán zřetel na aerodynamický tvar a kompaktnost kola. Pláště a ráfky musejí odolávat vysokým tlakům.

Silniční kola bychom mohli dále dělit na:

- Hobby (turistická geometrie rámu)
- Závodní (slopingové rámy)
- Triatlonové (preferenci tuhosti)
- Dráhová a časovkářská

### 2.3 Sjezdová kola

Tato kola mají přední i zadní odpružení. Jsou stavěna s ohledem na odolnost a trvanlivost i za cenu vyšší hmotnosti. Konstrukce dovoluje jezdit v nejtěžších podmínkách na sjezdových tratích, kamenitých sjezdech a po horách. Využívají se zde vícestěnné zesilované ráfky, jenž jsou také široké z důvodu volby širších plášťů.

### 2.4 Krosová a trekingová kola

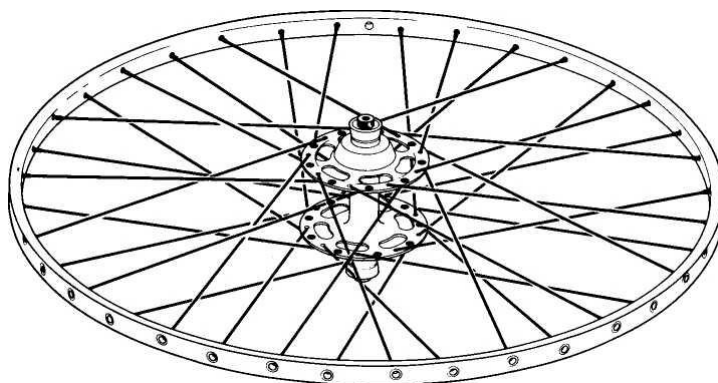
Smyslem těchto kol je kombinování vlastností silničních kol a horských kol. Využívá se zde relativně malého valivého odporu a trakce plášťů. Geometrie trekingových kol je uzpůsobena pro pohodlí, tudíž tato kola slouží nejčastěji pro cykloturistiku a cestování. Krosová kola jsou určena pro jízdu po polích, v blátivých podmínkách a písku.



Obr. 2.2 kolo značky Trek pod firemním označením Touring bike. [32]

### 3 ZAPLETENÉ KOLO

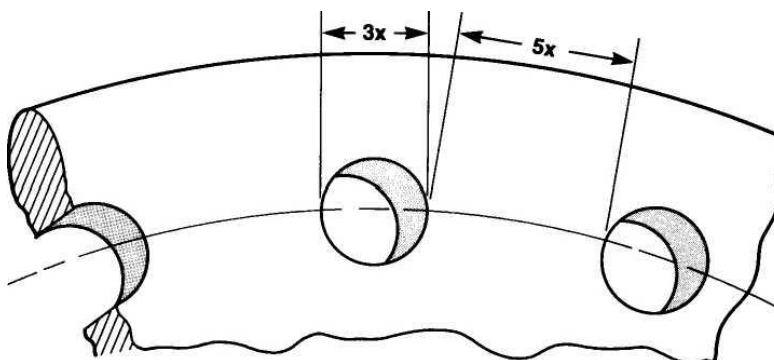
Ráfek kola je jednou ze základních komponent při zaplétání kola. Pokud chceme hodnotit jeho vliv na tuhost, použité materiály a ostatní charakteristiky, je nejdříve nutné se podívat na zapletené kolo jako na celek. Odlišnost jednotlivých kol vychází ze způsobu jeho využití. Tento fakt se promítá do designu kola zejména z konstrukčního hlediska. V tomto pohledu na danou problematiku se kladou požadavky na výsledné vlastnosti zapleteného kola, váhu jednotlivých součástí a v neposlední řadě také cenu. Pro větší variabilitu těchto jednotlivých složek je zapletené kolo montováno z několika součástí. [3]



Obr. 3.3 - Cyklistické zapletené kolo. [4]

#### 3.1 Náboj

Z důvodu umístění se náboj může jevit jako ta nejdůležitější část kola, která je uložena v centru otáčení, a ostatní komponenty pouze rotují kolem ní. To zapříčiňuje její poměrně statickou úlohu spolu s funkcí uchycení jednotlivých drátů výpletu do příruby. Právě příruba svým tvarem značně ovlivňuje funkci celého náboje. Pro designování náboje se využívá kombinace otvorů a podporného materiálu mezi nimi. Pro co nejnižší hmotnost náboje by prostor mezi otvory pro dráty měl být co nejmenší. Tato vzdálenost také závisí na materiálu. Pro většinu hliníkových nábojů platí pravidlo, že velikost materiálu mezi otvory by měla být o polovinu větší než sám otvor. [6]



Obr. 3.4 Rozteč pro přírubu. [4]



Příruba musí být dostatečně pevná, aby odolala silám z drátů, ale zároveň měkčí než dráty. I když je ocel pevnější než hliník, nevytvoří dostatečnou podporu právě proto, že je příliš tvrdá. Z tohoto důvodu je zde využito hliníkových slitin, které jsou dostatečně pevné a lehké, ale zároveň nepříliš tvrdé, čímž je zajištěn dostatečně těsný kontakt mezi dráty a přírubou. Pro vkládání a lepší podporu paprsků jsou hrany děr zkoseny. Některé příruby jsou také vytvářeny s odlehčovacími otvory.

Obecně se vytváří dva typy přírub, a to malé a velké. Velké jsou naddimenzovány a slouží k uchycení nejčastěji 36 drátů. Malé příruby jsou naopak konstruovány s co nejmenším množstvím materiálu, jakou rozteč povolí. Tyto příruby jsou omezeny počtem 32 drátů, pokud se nepřekrývají. Kola s velkou přírubou jsou při tangenciálním zaplétení zhruba dvakrát tak torzně tuhá, jako kola s malou přírubou. Je také rozdíl mezi přírubou na předním náboji a zadním náboji.



Obr. 3.5 Zadní náboj s rychloupínákem. [33]

### 3.2 Osa

Slouží k propojení kola s vidlicí či rámem. Pro uvolnění používáme např. rychloupínací systém (tzv. rychloupínák), které doposud patří mezi nejužívanější jak v silniční cyklistice, tak v MTB. Dále se můžeme setkat s upnutím pomocí matice. Tohoto se využívá například v gravity disciplínách. Některé osy využívají přítlačných šroubů pro zajištění a stlačení nebo také vačkové mechanismy (páčky), které stlačí a zaaretují danou pozici. Nejčastějšími průměry jsou pro přední kolo 20 mm, 15 mm a 9 mm. Zadní mají průměr dále 10 a 12 mm. Stejně tak se liší rozteče. [4,6]

### 3.3 Ložiska

Nedílnou součástí náboje jsou také ložiska, které umožňují rotační pohyb. Většinou se používají ocelová nebo keramická.

### 3.4 Výplet

Dráty jsou nejvíce namáhané části kola, proto jsou také velmi důležité a zaslouží si pozornost. Většina drátů má standardní design s kulatým průměrem, existují ale také speciální tvary pro aerodynamická kola, která mají rozdílný průměr. Na výběr máme z několika průměrů, nejčastěji zastoupenými jsou ovšem 1,8 mm a 2,0 mm. Tato tloušťka může být po celé délce anebo se můžeme setkat se zeslabovanými dráty. Zde je rozdíl v průměru zhruba 20 %. Dráty se stejným průměrem po celé délce nejlépe odolávají krouticímu momentu při sestavování kola a dotahování výpletu. Výrobní proces je zakončen tvářením drátu za studena do požadovaného tvaru. Z důvodu koncentrace napětí v ohybech a hrozícímu lomu součásti je prováděno vytvrzování. I přes tento fakt ohyb drátu, kde je úhel větší než 90°, patří mezi nejčastější místo s výskytem lomu. [6]



Obr. 3.6 Ukázka tvarů drátů firmy DT Swiss, modely (zleva) Champion, Comp, New Aero.

#### 3.4.1 Materiály drátů

Při konstrukci drátů se využívá mnoha materiálů. Dráty musí odolávat většině klimatických jevů, odolávat vlhku, prachu a jiným nečistotám. Proto se snažíme zvolit co nejvhodnější materiál, který odolá těmto jevům. Často využívaným materiálem je zde hliník a také titan, ačkoliv tyto varianty mají své plusy a mínusy. Oproti ocelovým nemají dráty z hliníkových slitin tak značnou odolnost vůči napětí a odolnost proti únavě materiálu. Titanové dráty mají zvýšenou vrubovou citlivost, tudíž zde nastává problém s odíráním. Ocelové dráty jsou levnější a lépe snáší opotřebení způsobené odíráním u náboje. Na tyto dráty se používá nerezová ocel, ocel s povrchovou úpravou nebo s příměsí pro zabránění korozi. Zde se využívá nejčastěji vlastností niklu a chromu, či kadmia a zinku.

V neposlední řadě by měly být zmíněny také nekovové a kompozitní materiály. Nekovová vlákna, vyvinutá původně pro vojenské a kosmické účely mají námi požadované vlastnosti. Bohužel tyto výhody následuje také velké množství záporných vlastností a také výrazně vyšší cena.

Přestože jsou tyto dráty lehčí než ocelové, mají jasné nevýhody. Jednou z nevýhod je ta, že uhlíková vlákna jsou v jednotlivých kusech až příliš tenká, aby odolala krouticímu momentu vyvolaném už při běžném dotažení drátů. Dále jsou křehká a choulostivá na vlhkost. Kompozitní dráty nemají dostatečné elastické vlastnosti, aby nahradily ocelové materiály. Při výrobě drátů z kompozitních materiálů se využívá obalování kompozitu kolem hliníkového jádra. Nevýhodou této varianty je vysoký odpor vůči větru. [4]

### 3.4.2 Design výpletu

Počet drátů je ovlivňuje pevnost a odolnost celého zapleteného kola. Zde je nejvíce vidět materiálový a technický pokrok ve strojírenství. Kdysi byl běžným počtem 36 drátů, což se považovalo za jakýsi standard pro závodění, ale také cykloturistické ježdění. Se zvýšením odolnosti a snížením odporu větru se rozšířily varianty 28 a 32 drátů. Varianta 36 drátů stále přetrvává zejména kvůli odolnosti výpletu. Pro lehká silniční kola se užívá variant s malým množstvím drátů (např. 20). Také je zde možnost využití diskových a kompozitních kol, která jsou tvořena třemi až pěti "dráty" či loukotěmi. Zejména se jedná o disciplíny, ve kterých je požadavek na co nejnižší odpor vůči větru. Využívá se zde toho, že rychlost na drátech je podstatně větší než rychlost kola a s rostoucím množstvím drátů roste také odpor vzduchu. [7]

### 3.4.3 Svazování výpletu

Při vyplétání kol existuje více způsobů, jak přes sebe zarovnávat dráty a tvořit celkový výplet kola. Jako zajímavost by měla být zmíněna možnost svazovat výplet. Výplet je svazován prostřednictvím drátu o malém průměru v místě dotyku. Prvotní účel bylo zabránit poškození kola při lomu drátu a následné rotaci. Jednu dobu bylo nejasné, zda-li nemá toto svazování také vliv na pevnostní charakteristiky kola a je to také jedním z důvodů, proč se tento trend stále zachovával.

Na základě výpočtů a měření ovšem bylo zjištěno, že svazování výpletu nemá žádný vliv na pevnost kola ani na napěťové charakteristiky jako torzní a laterální tuhost. Výsledkem tedy zůstává pouze benefit v podobě zabránění mechanickým škodám při prasknutí drátu. [4]



Obr. 3.7 Svazování výpletu. [4]

### 3.5 Ráfky

Ráfky se mohou jevit pouze jako mezičlánek mezi pneumatikou a brzdou nebo vidlicí. Jejich role je ovšem značně sofistikovanější. Především slouží jako podpora drátu při přenášení kombinovaného napětí a sil, působících na zapletené kolo. Od tohoto předpokladu se odvíjí požadavky na funkci.

Ideální ráfek by měl být splňovat tyto požadavky:

- Pružnost – aby dostatečně absorboval nárazy
- Tuhost- pro distribuci zatížení od několika paprsků
- Odolnost – vůči radiálním, bočním silám a krutu, odolnost proti opotřebení
- Ostatní – při brzdění přeměna energie kinetické na teplo (absorpce + rozptýlení)

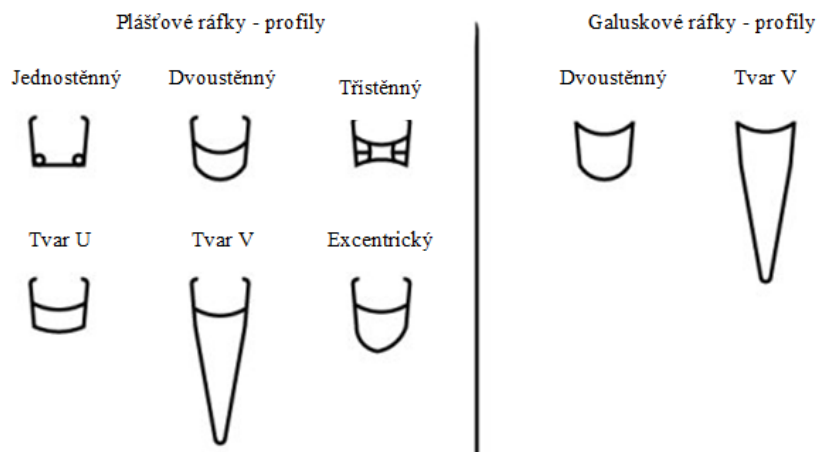
#### 3.5.1 Tvar ráfku

Ráfky bývají vyráběny v odlišných tvarech také v závislosti na použitém materiálu. Historicky nejčastěji používaným tvarem pro ráfky je tvar písmene „U“, jenž má uzavřený obdélníkový průřez profilu. Pro užší ráfky se z důvodu zachování či zvýšení tuhosti přidává na spodní část dutá sekce. Tímto způsobem jsou vytvářeny dvoustěnné a třístěnné ráfky v závislosti na množství těchto dutých otvorů. Dochází zde k nárůstu hmotnosti. [6,7]

Pro umístění pneumatiky se využívá několik systémů.

- Plášťové (clincher) – ráfek má patky, do kterých dosedají bočnice pláště
- Galuskové (tubular) – ráfek je bez bočnic, galuska se lepí na ráfek
- Ostatní – mezi ně patří tzv. plášťovka, bezdušové pláště a další

Dalším tvarem, jenž se používá z důvodu efektivity je „V“. Tyto ráfky jsou často těžší a pevnější. Brzdné plochy nebývají kolmé na brzdové destičky a z důvodu dostatečné hloubky ráfku není třeba ocelových vložek pro montáž paprsků. Hluboký průřez dále přidává na pevnosti. Mají značné aerodynamické výhody. Nevýhodou je cena a citlivost na boční vítr.

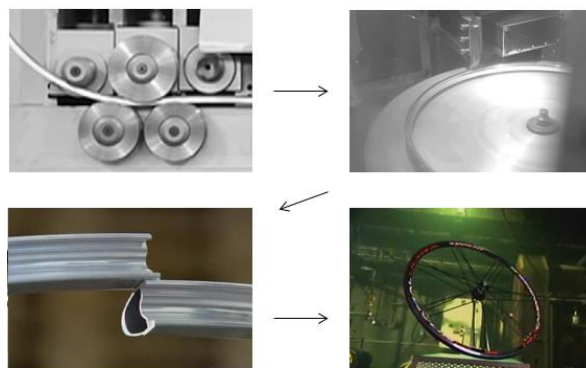


Obr. 3.8 Rozdělení ráčků a možné tvary.

Stěny ráčků nejsou dostatečně silné, aby zajistily přenos koncentrovaných sil z paprsků. Proto zde užíváme ocelových vložek, které v hliníkových ráfcích zabraňují zadření při utahování. Tento mechanismus umožňuje ztenčit stěny ráčku a tím i redukovat hmotnost. U některých ráčků dochází také k zesílení jedné strany ráčku jako podpora pro tyto vložky. [6,8]

### 3.5.2 Výroba ráčku

Momentálně nejprodávanějšími ráčky jsou právě ty, které jsou vyráběny ze slitin hliníku. Tato výroba probíhá v několika segmentech. Prvním je příprava již prefabrikované trubky o definovaném průměru a tvaru, která je extrudována do profilu ráčku. Na ohýbačce je tento obrobek navinut do čtyř vrstev. Poté pokračujeme kontrolním přeměřením průměrů a řezáním na čtyři části. Je třeba ojehlit konce a očistit ráčky od prachu a nečistot v roztoku kyselin. Toto namáčení slouží také jako příprava pro nanesení protikorozní vrstvy. Následuje tepelné zpracování pro sjednocení struktury a odstranění zbytkových napětí. V dalších krocích se výroba rozchází. Ráčky mohou být svařeny či mechanicky spojovány. S technologického hlediska je zajímavější právě svařování z důvodu komplikovanosti spoje. Po svaření přichází na řadu eloxování a povrchová úprava ráčku. Poté dochází k dokončování pomocí CNC přístrojů, frézování brzdových ploch pro V-brake systémy a vrtání děr pro dráty. Posledním úkonem je konečná montáž a docentrování kola. [4,8]



Obr. 3.9 Schéma technologického procesu firmy Fulcrum při výrobě zapletených kol modelu Zero.

## 4 ZATÍŽENÍ A SELHÁNÍ RÁFKŮ

Mnoho faktorů se podílí na tvorbě celkové pevnosti kola. Mezi nejdůležitější patří počet drátů, materiál a tvar ráfků a další. Pro správnou volbu materiálu ráfku je třeba vycházet také ze způsobu jeho zatěžování pro maximální předcházení lomu součástí.

### 4.1 Zatěžování

Zatížení rozdělujeme na dva typy – statické a dynamické. Při statickém je menší pravděpodobnost poškození součásti, proto je prioritním právě dynamické.

Statické zatěžování ráfků:

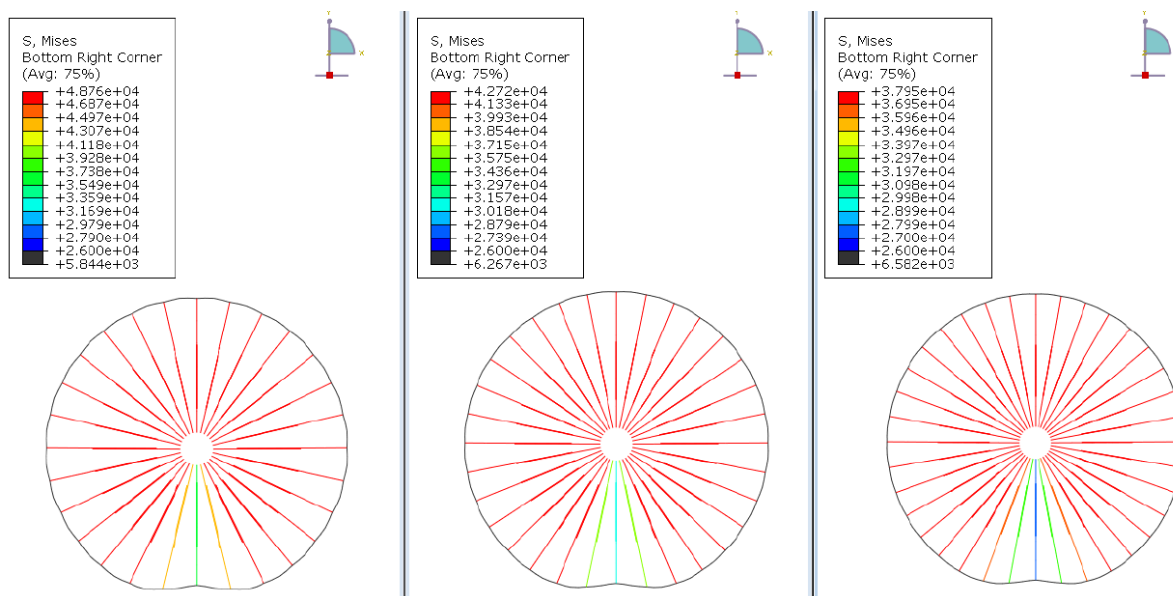
- Napnutí paprsků – v závislosti na počtu paprsků je tah paprsků na ráfku rovnoměrně rozdělen
- Tlak pneumatiky – i přestože je tlak menší než od paprsků, jde o stále nezanedbatelné síly působící v závislosti na tvaru pláště, kordu a tlaku nafouknutí
- Tlak na patky ráfků

Dynamické zatěžování ráfků:

- Radiální – tyto síly jsou vyvolány zejména pomocí váhy uživatele kola a nerovnostmi povrchu.
- Laterální – síly působící do boků ráfků způsobeny při šlapání, nerovnostmi atd.
- Krut – kroutící momentu může být vyvolán například šlapáním a rotací náboje nebo také pomocí brzd.

Při dynamickém zatěžování dochází k elastické deformaci. Whitt a Wilson došli k závěrům, že pod zatížením zapletené kolo nevytváří ovál, ale zachovává si kulatý tvar s deformací v místě kontaktu (zatížení). Toto zatížení je dále distribuováno přes ráfek do okolních drátů. Zbylé dráty mají zhruba stejné hodnoty napětí. Dále Burgoyne a Dilmaghania potvrdili analýzou drátu a míry předpětí, že ráfek slouží jako reakční část paprsků tak, aby byla zajištěna podpora veškerého tlakového zatížení, které mají přenášet. Z tohoto důvodu se také ráfek lokálně deformuje.

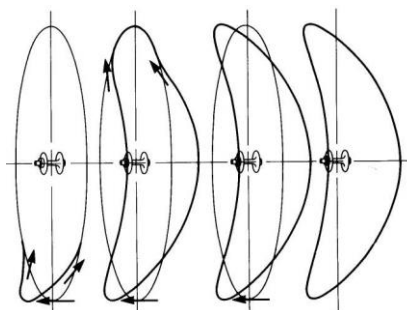
Pro ilustraci je zde vložena analýza hliníkových ráfků (Slitina hliníku 6061-T6) s dráty o průměru 2 mm vyrobených z nerez oceli a porovnání vlivu počtu drátů na deformace a napětí (pro 28, 32 a 36 drátů). Zatěžujeme silou 29 kN. [4,7]



Obr. 4.1 Napěťová analýza ráfku s 28, 32 a 36 dráty vytvořená v MKP programu. [7]

## 4.2 Kolaps a selhání kola

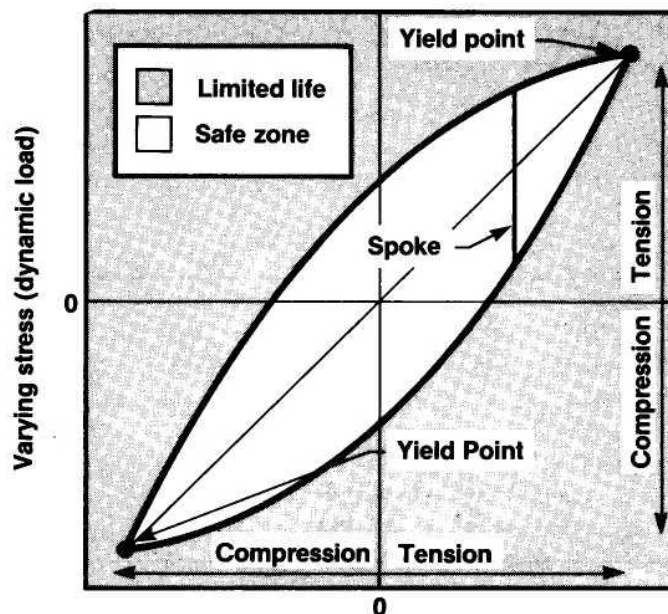
Selhání zjednodušeně znamená ztrátu funkce a znemožnění dalšího užívání kola nebo ráfku. K tomuto jevu může dojít z více příčin. Jednou z nich je kolaps kola. Ráfek je přitom zatěžován značnou laterální silou, která zdeformuje ráfek do tvaru sedla. Tento jev může nastat také pomocí značné síly radiální (například při nárazu do obrubníku). Rychlost zvyšuje pravděpodobnost kolapsu z radiální příčiny zatížení.



Obr. 4.2 Příklady kolapsu a zhroutení kola. [4]

Lomu také podléhají dráty kol. Ať už je to náhlým zatížením při nárazu nebo cyklickou únavou. Únava materiálu často není zjevná. Je zde vyžadován kvalitní materiál s malou drsností povrchu a minimem koncentrátorů napětí. Materiál je namáhán v cyklech (viz. obr. 4.3). Stejně tak ráfky a niple podléhají lomu především zapříčiněným únavou materiálu. Ráfek je namáhán také při brzdění abrasivním třením, kdy může dojít až k lomu.

Vzhledem k tomu, že dochází k elastické deformaci ráfku, je zde nebezpečný mezního stavu pružnosti. Materiál může při ohýbání překročit mez kluzu a deformovat se plasticky. Tento ohyb může vést k deformaci a lomu. [4]



Obr. 4.3 Zobrazení cyklického namáhání ráfku s funkčními oblastmi. [4]

## 5 MATERIÁLY RÁFKŮ

Po přezkoumání typu namáhání, funkčních předpokladů a návaznosti na další součásti se můžeme přesunout k volbě odpovídajícího materiálu. Právě materiál nese značnou část těchto vlastností.

### 5.1 Hliník

Materiál, jenž se začal ve větší míře používat až po objevení technologického postupu získávání hliníku pomocí elektrolýzy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . V cyklistickém průmyslu je hliník nejrozšířenějším materiálem, proto je zde prezentován jako první vhodný materiál pro ráfky kol. Získává se z horniny, složené z několika minerálů.

Mezi ně patří hydroxidy hliníku, gibbsit, böhmít, diaspor, oxid hlinitý, dihydrát a oxidy železa. Rozšíření užití vyplývalo zejména z jeho vlastností – nízkou měrnou hmotností, odolností proti korozi, vodivosti (tepelné a elektrické) a dalšími. Uplatnění našel v leteckém a automobilovém průmyslu. Odtud také pramenil vývoj a přizpůsobování slitin hliníku jejich užití.

Čistý hliník má kubickou plošně centrovanou mříž. I čistý hliník si našel uplatnění, ale hlavní přínos ve strojírenství mají slitiny hliníku. Elektrolýzou jsme schopni získat hliník o čistotě 99,9 % Al. Hliník čistoty 99,99 % Al rekrystalizuje při teplotě 100 °C, avšak hliník čistoty 99,996 % Al již při pokojové teplotě. Superčistý hliník vyrobený metodou zonální rafinace o čistotě 99,999 % Al po deformaci tvářením při teplotě kapalného dusíku (196 °C) začíná rekrystalizovat již při teplotě 50 °C. Se zvýšením stupně čistoty hliníku vzrůstá jeho elektrická vodivost, světelná odrazivost, tváritelnost a plasticita i korozní odolnost, což přináší nové možnosti použití. [9]



Toto použití je právě ve slaboproudé elektrotechnice, optoelektronice a mikroelektronice. Hliník také obsahuje nečistoty, které mají negativní vliv na vlastnosti hliníku. Na rozdíl od tohoto přidáváme do hliníku legury sloužící pro úpravu výsledných vlastností.

### 5.1.1 Vlastnosti hliníku

Důvody využití hliníku pro tvorbu ráfků jsou různé. Mezi kladné vlastnosti patří nízká měrná hmotnost, zpracovatelnost, pevnost blízká pevnosti ocelím, odolnost korozi v atmosféře a odolnost proti většině kyselin. Také má dobrou svařitelnost v ochranné atmosféře. Následují ale také negativa a to: nesnadné třískové obrábění, stárnutí hliníku, elektrochemická koroze a další. Z důvodu negativních vlastností čistého hliníku využíváme jeho slitin. Pomocí legujících prvků ovlivňujeme mechanické a fyzikální vlastnosti. [9,10,11]

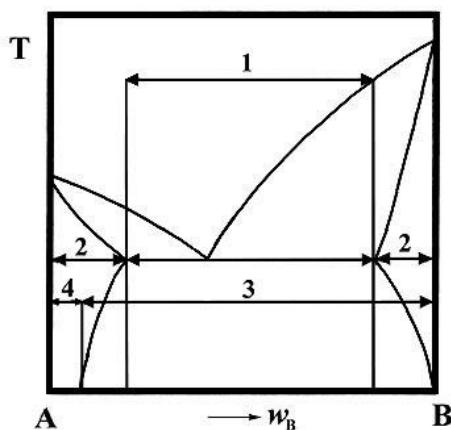
### 5.1.2 Slitiny hliníku

Tyto slitiny hliníku rozdělujeme podle technologie výroby:

1. Vhodné pro odlévání
2. Vhodné na tváření

Možnosti tepelného zpracování na:

3. Vytvrditelné
4. Nevytvrditelné



Obr. 5.1 Rozdělení hliníkových slitin, 1 – slévarenské slitiny, 2 – slitiny určené k tváření, 3 – precipitačně vytvrditelné slitiny, 4 – precipitačně nevytvrditelné slitiny. [9]

1. Slitiny vhodné pro odlévání mají pevnost v tahu až 250 MPa. Technologie lití je zejména pomocí tlakového lití či do pískových a tvarových forem (menší přesnost). Způsob odlévání dále upravuje konečné mechanické vlastnosti. Nejznámější slitiny nesou označení Siluminy, z důvodu jejich chemického složení (primárně hliník s křemíkem).

Siluminy mohou být dále rozděleny na :

- Podeutektické (pod 11,7 % Si)
- Eutektické (kolem 11,7 % Si) – nejlepší zabíhavost s malým smršťovacím efektem
- Nadeutektické (nad 11,7 % Si)

Mezi další typy slitin patří dále legované. Upravují se tak jejich funkce jako například možnost vytvrzování pomocí hořčíku a mědi (Al-Si-Mg, Al-Si-Cu) nebo technologické možnosti (tvorba složitých tvarů) pomocí niklu, manganu, titanu a dalších.

2. Pro tváření se využívají slitiny bez obsahu mědi, což zajišťuje korozivzdornost materiálu. Často využívanými jsou slitiny Al-Mg a Al-Mn. Tyto slitiny nelze tepelně zpracovávat. Mezi charakteristické vlastnosti těchto slitin se řadí dobrá svařitelnost, odolnost proti vibracím, tvářitelnost a lomová houževnatost. Slitiny Al-Mg-Si se dají tepelně zpracovávat. Využití těchto slitin je od leteckého průmyslu po stavebnictví. Právě tyto slitiny hliníku jsou velmi významné pro cyklistický průmysl.
3. Nevytvrditelné slitiny nelze vytvrzovat tepelným zpracováním. Jejich pevnost je způsobena substitučním zpevněním tuhého roztoku, dalšího zpevnění dosáhneme tvářením za studena.
4. Jejich protikladem jsou vytvrditelné slitiny, které jde tepelně zpracovat pro zvýšení pevnosti a tvrdosti.

Samotnou kategorií je poté kvůli svému významu duraluminium (nesoucí obchodní označení Dural). Řadí se mezi vysokopevnostní materiály (až 530 MPa) s nižší odolností proti korozi. Mezi tyto slitiny patří Al-Cu-Mg, AlCu<sub>4</sub>Mg, AlCuMg1Mn. Dural má jen nepatrně vyšší měrnou hmotnost než čistý hliník. Technické spoje vznikají pomocí speciálních tavidel, nýtů nebo pomocí lepení. Nevýhodou je malá anelastická, jenž zapříčiňuje malou schopnost tlumení otřesů a pohlcování rázů. Duraluminiové materiály ovšem také spadají pod slitiny hliníku pro tváření. [10,11]

### 5.1.3 Tepelné zpracování slitin

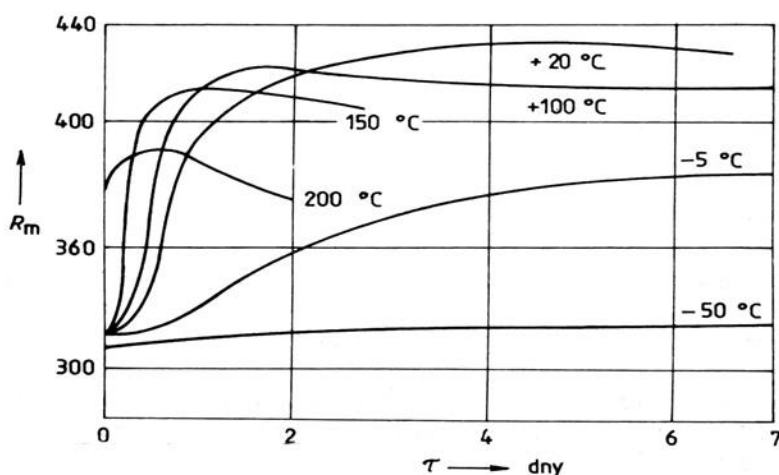
Účelem tepelného zpracování je získání určitého nerovnovážného stavu struktury, který zajišťuje požadované vlastnosti výrobku. Je to ovšem úkon navíc, který navyšuje konečnou cenu ráfku. Skládá se z rozpouštěcího žíhání, rychlého ochlazení a vytvrzování (stárnutí).

Pod rozpouštěcím žíháním si můžeme představit ohřev a dostatečnou výdrž na takové teplotě, při které dojde k maximálnímu převedení přísady do tuhého roztoku hliníku. Při volbě teploty rozpouštěcího žíhání vycházíme z fázového diagramu slitiny a z přesnosti regulace teploty v peci.

Při homogenizačním ohřevu nesmí dojít k překročení teploty solidu, aby nedošlo k natavení hranic zrn slitiny. Tehdy dochází k degradaci mechanických vlastností materiálu.

Rychlé ochlazení se provádí nejčastěji do vody (možný je také olej a vzduch). Cílem je vznik přesyceného tuhého roztoku, při teplotě okolí, u kterého je obsah rozpuštěné příměsi vyšší než odpovídá její rovnovážné rozpustnosti při dané teplotě. Při ochlazování objemnějších součástí se užívají méně razantní ochlazovací média.

K vytvrzování dochází, když je přesycený tuhý roztok termodynamicky nestabilní. Následuje jeho rozpad. U některých slitin dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku již při teplotě okolí – také nazývané přirozené stárnutí. Umělé stárnutí je urychlené ohřevem. Tento proces je obecně řízen difuzí, jenž začíná nukleací a vznikem koherentních precipitátů tzv. Guinierových-Prestonových zón. Výsledkem je pnutí v mřížce hliníku v okolí zón, které jsou překážkou pro pohyb dislokací. Tento jev je nazýván vytvrzováním. [12]



Obr. 5.2 Ukázka stárnutí hliníkové slitiny AlCu4Mg. [35]

Tab. 1 Přehled tepelného zpracování hliníku.

Způsoby tepelného zpracování	Charakteristická vlastnost
Homogenizační žíhání	Účelem je odstranit dendritické odmíšení.
Rekrystalizační žíhání	Zajišťuje dostatečnou tvárnost materiálu spolu s pevností. Může se také jednat o poslední technologický proces výroby.
Žíhání na odstranění pnutí	Používá se k odstranění pnutí po svařování, u odlitků či tvarově složitých a objemných výrobků.
Žíhání pro odpevnění	Slouží k přípravě materiálu na další tváření
Vytvrzování	Výsledkem je vytvrzený materiál v důsledku pnutí v krystalické mřížce v okolí zón, které jsou překážkou pro pohyb dislokací. Tím dochází ke zpevnění materiálu.

#### 5.1.4 Třídění slitin vhodných k tváření

Vzhledem k velkému množství slitin využíváme amerických norem k jejich značení. Tento princip je číselný. V cyklistickém průmyslu jsou nejznámější řady začínající číslem 6000 nebo 7000. Pro ráfky kol se využívá výhradně slitin hliníku z řady 6xxx, kde další pozice označují hlavní přísadové prvky ve slitině. [12,13]

Tab. 2 Třídění slitin hliníku se základní charakteristikou.

Značení slitiny hliníku	Legury	Charakteristika	Možnost TZ
1000	-	Jedná se o téměř čistý hliník (99%), pevnost v tahu je v rozmezí 70 – 130 MPa.	Ano
2000	Měď	Pevnost po precipitačním vytvrzení srovnatelná s ocelí, obchodní název Dural (duraluminium). Jedná se o první zástupce slitin hliníku. Zápornou vlastností je špatná svařitelnost.	Ne
3000	Mangan	Antikorozní charakter, pevnost v tahu je zhruba o 20 % lepší než u čistého hliníku.	Ano
4000	Křemík	Rozšířeno pod názvem Silumin, odolná korozi, lehká a pevná slitina. Má nižší teplotu tání, proto je vhodná pro elektrotechniku – pájení.	Ano
5000	Hořčík	Užití pouze za nízkých teplot, od 60°C náchylnost ke korozi, hořčík zlepšuje mechanické vlastnosti.	Ano
6000	Hořčík, Křemík	Lehce zpracovatelné, méně pevné než slitina (7000), mez kluzu je porovnatelná s nízkouhlíkovými ocelmi. Složité tvary se vytváří pomocí protlačování	Ne
7000	Zinek	Nástupce duralu (třídy 2000), nejvyšší pevnost – přibližně 500 MPa. Tato slitina má široké užití od automobilového průmyslu, přes rámy letadel po cyklistiku.	Ne
8000	Lithium, Mangan, Nikl a další	Využití v leteckém průmyslu	Ano

### V cyklistice se nejčastěji setkáváme s pěti typy slitin.

- Hliníková slitina 2014, je snadno obrobiteľná za specifických teplot, má také vysokou tvrdost. Mez pevnosti v tahu je 468 MPa. Technologicky se zpracovává pomocí metody rozpouštěcího žíhání, proto jeho označení nese název 2014 T6. Proces stárnutí materiálu je umělý. Nevýhodou je obtížná svařitelnost a malá odolnost proti korozi. V cyklistice se může využívat například na řídítka kol. Velmi podobný je také materiál 2017. Jediným rozdílem je proces stárnutí. Vlastnosti jsou závislé na obsahu legujících prvků – hořčíku a manganu. Mez pevnosti je přes 400 MPa. Využívá se pro náboje kol [14,15].
- Slitina 6061 je hliníková slitina s původním označením 61S, vyvinuta roku 1935. Obsahuje legury Mg a Si. Má dobré mechanické vlastnosti závislé na obsahu a také poměru obsahů přísadových prvků. Je lehce svařitelná (TIG, MIG). Díky těmto vlastnostem má slitina všeobecné užití. Využívá se právě jako konstrukční materiál pro ráfky kol i ostatní cyklistické komponenty (řídítka, sedlovky, vidlice) [16,17]
- Další je slitina 6063, jenž má dobré mechanické vlastnosti, je tepelně zpracovatelná a svařitelná. Využíváme ji od architektury po cyklistiku. Její hladký povrch je vhodný pro eloxování. [18,19]
- Materiál 7005 se využívá především pro rámy kol, vzhledem k jeho snadné svařitelnosti. Fyzikální vlastnosti jsou obdobné se slitinou 6061. [20]
- Slitina 7075 je svou pevností srovnatelná s mnoha ocelmi, má dobrou únavovou pevnost a průměrnou obrobiteľnost. Nevýhodou je menší odolnost proti korozi. Využití je všude, kde je třeba přepravy – námořní a dopravní doprava, letecký průmysl, rámy kol atp. Tento materiál je také užíván pro zbraně M16 Americké armády. Nevýhodou je vyšší cena. [21]

Pro zlepšení vlastností hliníkových slitin následuje jejich následné zpracování (viz. výše tepelné zpracování slitin). Při značení slitin hliníku narážíme od obsahu legujících prvků po formu při výrobě (lité nebo ingoty). Pro označení tepelného zpracování využíváme dodatkové značení pomlčkou, písmenem a číslem. Například 6061 – T6.

Tab. 3 Dodatkové značení zpracování hliníkových slitin.

Označení zpracování	Způsob zpracování
F	Totožné s výrobou slitiny
H	Mechanicky zpevněno (tvářením za studena)
O	Žíháno
T	Tepelně zpracováno s další úpravou
W	Pouze tepelné zpracování

Pro slitiny užívané v cyklistickém průmyslu je potom významné tepelné zpracování s označením T. To se dělí dále do dalších podbodů, z nichž se nejčastěji setkáváme s T2 – ochlazení za zvýšené teploty tváření, tváření za studena s přirozenou dobou stárnutí a T6 – po rozpouštěcím žíhání a umělém stárnutí. [21]

Hliníkové slitiny vhodné ke tváření jsou v cyklistice velmi využívány, jsou rozšířené a své uplatnění si našly v průběhu několika let zejména kvůli poměru ceny, pevnosti a váhy. Bohužel negativem jsou proměnlivé vlastnosti v průběhu funkčního období součástí, stejně tak jako špatné tlumení vibrací. Ve srovnání s ocelí a kompozitními materiály patří v útlumu vibrací mezi nejhorší.

## 5.2 Ocel

Ocel je slitina železa, uhlíku a dalších legujících prvků, jenž obsahuje méně než 2,14 % uhlíku. Při obsahu uhlíku více než 2,14 % hovoříme o litinách. Výroba oceli je metalurgický proces, při kterém je ze surového železa získávána slitina železa s uhlíkem a dalšími chemickými prvky. Železo získáváme z železných rud jako magnetit, siderit hematit a další. Množství uhlíku je sníženo na požadovanou úroveň stejně jako nečistoty, jakými jsou například síra a fosfor. Naopak do slitiny přidáváme další legující prvky. Ocel je jedním z nejvíce používaných konstrukčních materiálů. V cyklistice našla ocel uplatnění mezi komponenty, rámy a také ráfky kol. Množství užití plyne zejména z různých možných modifikací oceli ať už pomocí tepelného zpracování nebo pomocí chemického složení. V technické praxi se výraz „železo“ ponechává pro označení chemického prvku. Technické slitiny se označují jako „ocel“ respektive „litina“ v závislosti na obsahu uhlíku. [22]

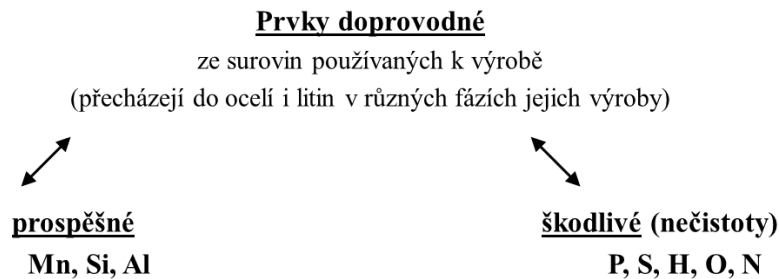
Železo s uhlíkem vytváří soustavu. Ta je popsána pomocí binárních diagramů. Binární diagram železo-uhlík zobrazuje závislosti, ve kterých jde pomocí teploty a obsahu uhlíku odečíst fázové a strukturní přeměny ve slitině. Podle formy vyloučení uhlíku se rozlišují dva typy binárního diagramu:

- Metastabilní - jedná se o soustavu Fe-Fe<sub>3</sub>C (železo – cementit) s úplnou nerozpustností železa a částečnou rozpustností uhlíku, kde v obsahu uhlíku 6,67 % je maximální hodnota obsahu cementitu.
- Stabilní – tento binární diagram má využití jen pro slitiny uhlíku s obsahem vyšším než 2 %.

### 5.2.1 Prvky v slitině Fe + C

Kromě železa a uhlíku jsou v technickém železe obsaženy také další prvky (mangan, křemík, atd.), ale také prvky nežádoucí (fosfor, síra a další). Tyto prvky obsažené ve slitinách Fe + C můžeme rozdělit na:

- Doprovodné
  - Prospěšné
  - Škodlivé
- Přísadové (legury)



**Prvky přísadové (legury)**  
Cr, Mn, Ni, Si, Mo, W, V, Nb, Ti, Al, ...  
jsou záměrně přidávány do slitin Fe + C

Obr. 5.3 – Rozdělení prvků ve slitinách železa [35]

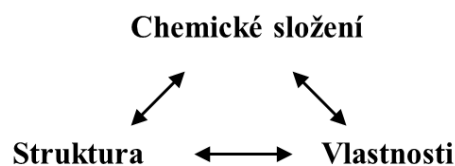
Základní kritérium pro rozdělení prvků na základě chemického složení je legované a nelegované. Obsah lehur upravuje česká státní norma ČSN 10020. Pro legované oceli:

- Mn > 1,65%
- Si > 0,50%
- Cr, Ni > 0,3% ,
- W, V, Al, Mo, > 0,1% (příp. 0,08%),
- Cu, Pb > 0,4%

Nižší obsahy prvků nejsou v ocelích považovány za přísady.

Legování:

Přísadové prvky do ocelí přidáváme z důvodu úpravy mechanických vlastností.

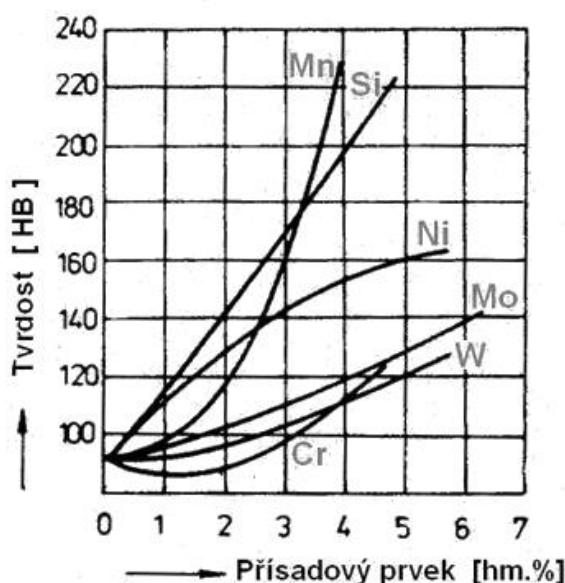


Obr. 5.4 Návaznost při legování. [35]

- Mohou se rozpouštět v tuhých roztocích (austenit, delta-ferit, ferit), N, H, O, B se rozpouštějí intersticiálně, ostatní legující prvky se rozpouštějí substitučně
- Tvoří intermediální fáze – karbidy a nitridy, s jinými kovy fáze intermetalické
- Mají vliv na typ tuhého roztoku Fe + C (prvky austenitotvorné, feritotvorné atd.)

Na základě těchto prvků ve slitinách Fe + C plynou odlišné mechanické a fyzikální možnosti výsledného materiálu, ať už je to způsob dalšího zpracování po odolnost vůči přírodním jevům (korozivzdornost). [22,23]

- procesy tepelného zpracování (Cr, Ni, Mn, Mo, V, Si)
- fyzikální vlastnosti – elektrické a magnetické (Si)
- odolnost proti opotřebení V, Cr, W, Mo
- růst zrna za vyšších provozních teplot (Al, Nb, V, Ti)
- žárovevnost (Cr, Mo, W, V)
- korozivzdornost (Cr, Ni, Mo, Si, Cu)
- žáruvzdornost (Cr, Si, Al)



Obr. 5.5 Vliv prvků na tvrdost a pevnost feritu. [35]

### 5.2.2 Rozdělení ocelí

V současnosti je vyráběno přes 2500 druhů ocelí. Ty mohou být rozděleny dle chemického složení, struktury, mechanických a fyzikálních vlastností.

Podle chemického složení můžeme dělit oceli dle legování. Tento metalurgický postup popisuje přimíšení legujících prvků k hlavnímu kovu (nebo slitině kovů) za účelem úpravy či změny vlastností.

- Nelegované oceli – běžně označovány také uhlíkaté oceli. Obsahy prvků mají nižší, než je nejnižší přípustná hodnota pro daný prvek udávaná normami. Pro většinu prvků je tento hmotnostní podíl kolem 2 %. Jejich mechanické vlastnosti se upravují zejména tepelným, tepelně-chemickým a tepelně- mechanickým zpracováním.



- Nízkolegované oceli - obdobné vlastnosti jako uhlíkaté oceli, ale tyto jsou vhodnější pro tepelné zpracování. Hmotnostní obsah legujících prvků po odečtení uhlíku je většinou do 5 %.
- Vysoce legované oceli – hmotnostní obsah legujících prvků je vyšší než 5 %. Na základě kombinace prvků jsme schopni upravovat mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. (například korozivzdornost)

Rozdělení podle oblasti využití, kde kombinujeme možnost legování, tepelného zpracování a chemického složení:

- Konstrukční oceli – jsou to oceli většinou nelegované, používají se ve strojírenství, stavebnictví, apod.
- Automatové oceli – uhlíkové oceli se zvýšeným obsahem síry a manganu (z technologických důvodů), tímto je zajištěna dobrá obrobitelnost při velké rezné rychlosti a lámavosti třísky během obrábění.
- Oceli pro stavebnictví – neboli tzv. betonářské oceli na armovací dráty a tyče, většinou nelegované oceli nebo nízkolegované.
- „Pružinová ocel“ – tato ocel musí splňovat vhodné dynamické a statické vlastnosti společně s dlouhou životností. Pro tyto účely využíváme nelegovaných ocelí se zvýšeným obsahem uhlíku nebo také oceli se zvýšeným obsahem manganu a chromu.
- Ocel k cementování – tato ocel musí mít nízký obsah uhlíku z důvodu kalení a zachování si plasticity. Tvrdost povrchu zvyšujeme obohacením povrchové vrstvy uhlíkem před samotným kalením.
- Ocel pro elektrotechniku – tuto ocel využíváme pro konstrukci transformátorů a jiných zařízení, používaných v elektrotechnice. Požadavkem jsou zejména magnetické vlastnosti, ale také možnost technologického zpracování do formy plechů.
- Hlubokotažená ocel – slouží k výrobě hlubokotažných plechů, u kterých se klade zřetel na plastické vlastnosti. Využíváme ocelí nízkouhlíkových s minimem legur. Úprava mechanických vlastností se dosahuje mikro legováním (hliníkem, titanem, vanadem a dalšími).
- Ocel k zušlechťování – se středním obsahem uhlíku, následné kalení a popouštění na vyšší teploty zajišťuje vysokou houževnatost a dostatečnou pevnost. I přes tento proces zůstává možnost obrábět tyto oceli (na rozdíl od kalených ocelí).
- Korozivzdorné, žáruvzdorné a žárupevné oceli – vysoce legované oceli zejména niklem a chromem. Korozivzdorné oceli se dělí do čtyř hlavních skupin - martenzitické, feritické, austenitické a feriticko-austenitické. Nejběžnější – austenitické – jsou nemagnetické a používají se i pro výrobu nádobí.

- Nástrojové oceli - tyto oceli mohou být uhlíkové, středně a vysoce legované nebo také oceli rychlořezné (HS) s vyšším obsahem uhlíku. Používají se na výrobu nástrojů, jakými jsou vrtáky, zápachové nože, frézy. Uhlíková ocel, jež pomocí kalení dosáhne obdobné tvrdosti jako rychlořezná ocel, udrží tvrdost a ostrost do 250 °C. Na rozdíl od toho ocel rychlořezná, obsahující množství karbidů, udržuje ostrost a tvrdost do teplot 500 °C. Tato ocel se začala vyrábět už před 1. světovou válkou. [22,23]

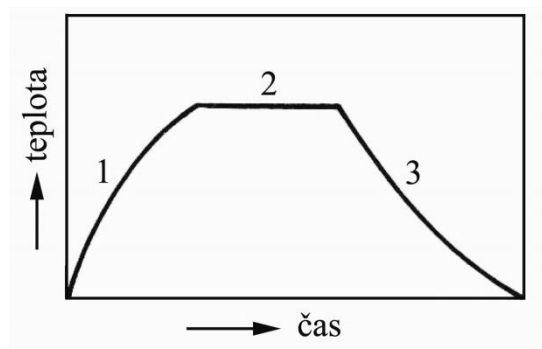
Třída oceli	Druh oceli podle			Bližší údaje (rozsah záruk chem.složení, charakteristická přísada)	
	jakosti	použití	chem.složení		
10 XXX	obvyklých jakostí	konstrukční	uhlíkové	Bez záruky složení	
11 XXX				Zaručuje se max. obsah C,P,S, resp.P,S v tavbovém vzorku a hutních výrobku.	
12 XXX	slitinnové		Oceli uhlíkové		
13 XXX			Legované Mn, Si		
14 XXX			Legované Cr (Mn, Si)		
15 XXX			Legované Mo,W,V (Cr)		
16 XXX			Legované Ni (Cr, W, Mo, V)		
17 XX			Vysocel legované oceli: korozivzdorné, žáruvzdorné, žárupevné, speciální		
19 XXX	nástrojové	uhlíkové	Oceli uhlíkové		
		slitinnové	Oceli slitinnové a slitinnové rychlořezné		

zaručuje se chem. složení tavbového vzorku a hutních výrobků udaných rozmezí prvků nebo max. či min.obsahu

Obr. 5.6 Třídy ocelí. [36]

### 5.2.3 Tepelné zpracování ocelí

Vlastnosti oceli jsou závislé nejen na chemickém složení, ale především na struktuře – tj. na fázovém složení a na tvaru a uspořádání jednotlivých fází. Požadované struktury se dosahuje u ocelí vhodného chemického složení tepelným zpracováním. Tepelné zpracování zahrnuje všechny postupy, při nichž se vnitřní stavba kovu záměrně mění pomocí změn teploty. Při tepelném zpracování mohou probíhat změny struktury ve dvou směrech: Je-li struktura v nerovnovážném stavu, lze použít postupů směřujících k dosažení termodynamické rovnováhy, kterou představuje diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C. Tyto postupy se souhrnně označují jako žíhání. Druhou skupinou procesů je vytváření nerovnovážných struktur, které vznikají rychlým ochlazením. Tyto procesy se označují jako kalení. [24]

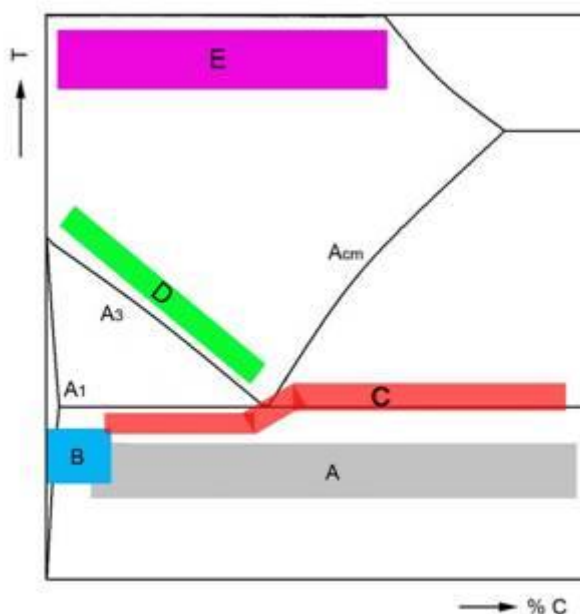


Obr. 5.7 Schéma tepelného zpracování (1 – ohřev, 2 – výdrž na teplotě, 3 – ochlazování). [35]

Procesy **žihání** se vyznačují velmi malou rychlostí změn teploty, čímž vznikají struktury blízké rovnovážným. Změny struktury při žihání jsou spojeny s fázovými přeměnami (žihání s překrystalizací) nebo pouze se změnami uspořádání fází (žihání bez překrystalizace).

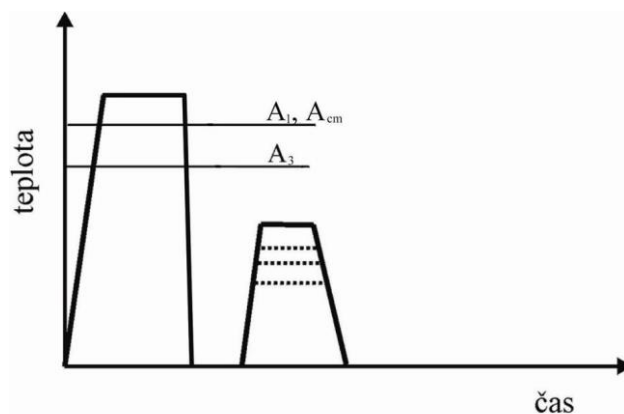
- Žihání bez překrystalizace představuje žihání ke snížení pnutí, rekrytalizační žihání k odstranění deformační struktury po tváření za studena a žihání na měkko, jehož cílem je sferoidizace karbidů za účelem zlepšení obrobitelnosti materiálu.
- Žihání s překrystalizací představuje především normalizační žihání, sloužící ke zjemnění austenitického zrna a homogenizační žihání pro omezení segregace difúzním vyrovnáním obsahu legur.

Uvedené procesy žihání se využívají především jako mezioperační žihání, obvykle se těmito postupy nedosahuje užitečných vlastností materiálu.



Obr. 5.8 Oblasti žihacích teploty diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C: A) žihání ke snížení pnutí, B) rekrytalizační, C) na měkko, D) normalizační, E) homogenizační. [24]

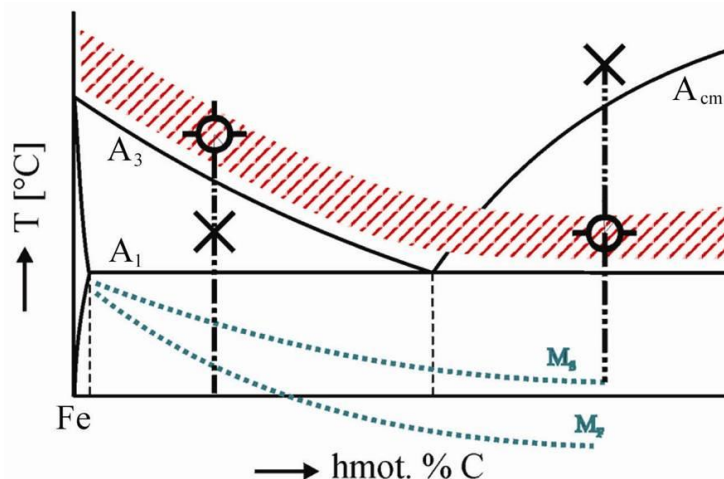
Pro dosažení vhodné struktury a vlastností materiálu se nejčastěji využívá **zušlechťování**. Proces zušlechťování se skládá z kalení a popouštění. Kalení se provádí pomocí ohřevu nad teplotu  $A_3$ , následuje izotermická výdrž a rychlé ochlazení na pokojovou teplotu. Po kalení následuje ohřev na teplotu  $A_1$ , výdrž a ochlazení (neboli popouštění).



Obr. 5.9 Schéma zušlechťovacího procesu. [35]

Při ohřevu nad teplotu  $A_3$  probíhá přeměna feriticko-perlitické struktury na austenit neboli austenitizace. U podeutektoidních ocelí probíhá austenitizace v rozmezí teplot  $A_1$  a  $A_3$ , u nadeutektoidních ocelí mezi teplotami  $A_1$  a  $A_{cm}$ . Na austenitizaci má vliv jak výchozí stav struktury, tak složení oceli. Poté následuje ochlazení z austenitizační teploty na pokojovou teplotu. Při ochlazování dochází k rozpadu austenitu. Během ochlazování mohou vznikat různé produkty, lišící se strukturou a vlastnostmi:

- Perlit – vzniká při nejmenší rychlosti ochlazování. Jedná se o lamelární směr feritu a cementitu. Probíhá při teplotách, které dovolují vysokou rychlost difúze uhlíku i legujících prvků
- Bainit – vzniká při vyšší rychlosti a nižší teplotě, než je teplota perlitické přeměny. Jedná se o nelamelární směs perlitu a cementitu. Bainitická transformace neprobíhá úplně, část austenitu zůstává ve formě nepřeměněného zbytkového austenitu.
  - Horní bainit – vzniklý za vyšších teplot, vlastnosti a struktura je bližší perlitu
  - Dolní bainit – vytváří se za nižších teplot, podoba s martenzitem
- Martenzit – při rychlostech vyšších, než je kritická rychlost kalení a teplotách nižších, než je teplota bainitické přeměny dochází ke vzniku martenzitu. Martenzit je přesycený tuhý roztok uhlíku v  $\alpha$ -Fe s tetragonální prostorově středěnou mřížkou. Martenzit vzniká bezdifúzním střižovým mechanismem. Martenzitická transformace nikdy neprobíhá úplně, zbytkový austenit snižuje tvrdost vzorku po zakalení.



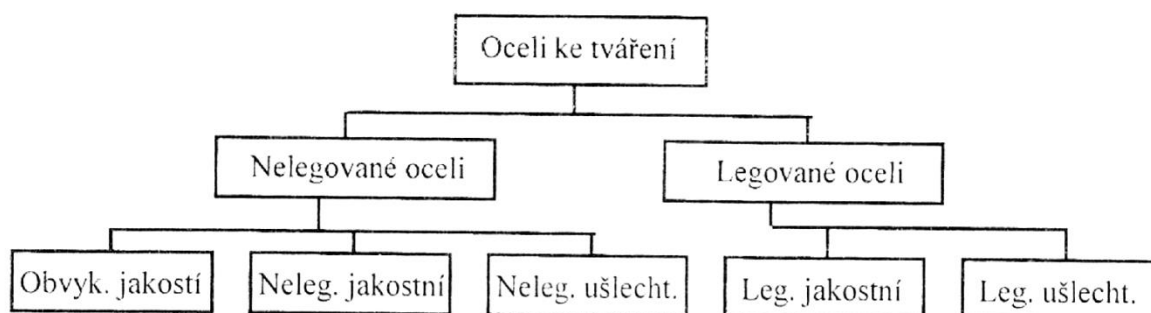
Obr. 5.10 Pásmo kalících teplot. [24]

Rozpad austenitu za různých podmínek ukazují transformační diagramy, ve kterých jsou uvedeny teploty a časy potřebné k dané přeměně podle složení a stavu výchozí oceli. Diagramy izotermického rozpadu austenitu (IRA) ukazují průběh přeměny austenitu za konstantní teploty, zatímco diagramy anizotermického rozpadu austenitu (ARA) znázorňují průběh přeměn austenitu při různých rychlostech ochlazování.

Dále může následovat **chemicko-tepelné zpracování**, jež pomocí difúzních procesů upravuje chemické složení povrchových vrstev. To zapříčiňuje změnu tvrdosti povrchu zároveň se zachováním houževnatosti jádra. Mezi tyto procesy patří cementování, nitridování, sulfonitridování, alitování, boridování a další. [24]

### 5.2.3 Ocel pro cyklistiku

Pro cyklistický průmysl používáme pouze oceli na tváření. Oceli na odlitky zde nemají využití. Tyto oceli jsou nadefinovány maximálním obsahem 2 % uhlíku a zároveň hmotnostní podíl železa musí převyšovat všechny ostatní prvky. Podskupinou, do které spadají veškeré typy ocelí užívané v cyklistickém průmyslu, jsou konstrukční oceli.



Obr. 5.11 Rozdělení ocelí k tváření. [35]

Ocel v cyklistice měla a má své místo. Používala se na většinu komponentů včetně ráhů, kde má i nyní své využití. Využívala se také pro ráfky kol. V dnešní době se využívá výhradně pro ráfky dětských kol, které mají menší průměr a váha nemá tak významnou roli. Širší veřejnosti jsou známy oceli označovány jako Hi-Ten ocel a Cr-Mo (chrom-molybdenová ocel). Z materiálového hlediska je ale toto rozdělení nedostačující. Pro jízdní kola se využívá konstrukčních ocelí (např. S355J2), ale také výše zmiňované chrom-molybdenové oceli 25CrMo4, u kterých provádíme také zušlechťování pro dosažení adekvátních vlastností.

Mezi nejpoužívanší oceli patří S235xx, S355xx, dle ČSN 11343, 11 373 a další. Tyto oceli patří pod nelegované konstrukční oceli, vhodné ke svařování. Oceli s koncovkou J0W a J2WP mají zvýšenou odolnost proti atmosférické korozi dle ČSN EN 10155. Většinou se jedná o výrobky válcované za tepla vhodné k tepelnému tváření. Měz kluzu těchto ocelí je 310- 340 MPa, tažnost  $A_5 \geq 30$ . [25,26]

Přehled vlastností oceli <b>S235JR</b>							<b>1.0038</b>		
Druh oceli	Nelegovaná jakostní konstrukční ocel								
Dřívější označení	S235JRG2 podle EN 10025: 1990 +A1: 1993; RSt 37-2 podle DIN 17100; <b>11 375</b> podle ČSN								
Chemické složení v % hmot. (rozbor tavby)	C max. pro tloušťku v mm			Mn max.	Si max.	P max.	S max.	N max.	Cu max.
	≤ 16	>16 ≤ 40	> 40						
		0,17	0,17	0,20	1,40	-	0,035	0,035	0,012

Obr. 5.12 Ukázka z materiálových listů firmy AZCU. [25]

Dalším typem oceli využívaný v cyklistice (obecně) je ocel s označením 25CrMo4, dle ČSN 15130. Lidově nazývaná také chrom-molybdenová ocel (z anglického chromoly). Její chemické složení je 0,80 – 1,10 % Cr, 0,15 – 0,25 % Mo, 0,28 – 0,33 % C a další legující prvky. Patří mezi nízkolegované oceli určené k zušlechťování. Má zaručenou dobrou svařitelnost.

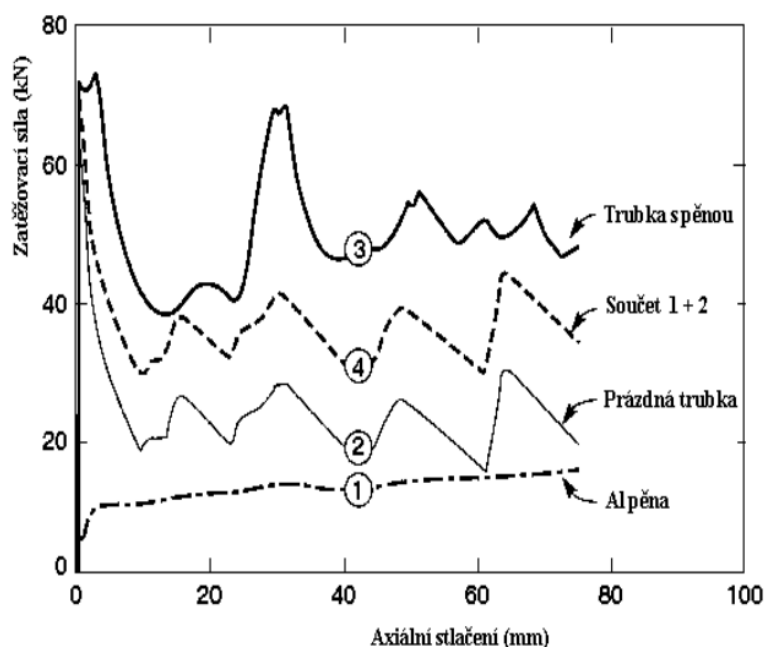
Z důvodu setrvávajícího pokroku ve strojírenství stále nacházíme využití oceli v cyklistice. Její využití už ovšem není na ráfky kol, nýbrž například na rámy. S pomocí vývoje firem se můžeme setkat s materiály jako jsou Niobium a Nivarcom. Tyto typy ocelí jsou vyráběny s letitou historií firmami Columbus, Reynolds, Dedacciai a další. Tyto oceli se odlišují od ostatních vysokou pevností. I přes všeskerý technologický pokrok, kdy je ocel v cyklistice nahrazována kompozitními materiály a hliníkovými slitinami, mají právě tyto příklady ocelí budoucnost ve svém využití.

### 5.3 Kompozitní materiály

Kompozitní materiál, neboli zkráceně kompozit, je obecně vzato materiál ze dvou nebo více substancí s rozdílnými vlastnostmi. Tyto vlastnosti dávají výslednému výrobku nové vlastnosti, které nemá sama o sobě žádná z jeho součástí. Napříč tomu, že kompozity jsou složeny z jasně oddělených fází, jako technický materiál je považujeme za homogenní. Právě z tohoto důvodu zavádíme v kompozitu fiktivní hodnoty napětí v kompozitu a relativní deformace kompozitu. Tyto hodnoty jsou odlišné od skutečných hodnot v matrici i disperzi, ale vzájemně spolu souvisí.

Většina uspořádání kompozitů je taková, že vyvolává jejich anizotropii. S tímto faktem je možné se vyrovnat pomocí uspořádání (lamináty, překližky). V některých případech je ovšem anizotropie žádaným jevem. Jedná se například o lyžování, lukostřelbu a další. [27]

Vlastnosti této pevné látky, vzniklé spojením nejméně dvou fází, popisuje synergický efekt. Celkové vlastnosti totiž nejsou výsledkem sumace jednotlivých fází.



Obr. 5.13 Zobrazení synergického efektu při vložení hliníkové pěny (kompozit) do hliníkové trubky ke zvýšení odolnosti tlakovému namáhání. [27]

#### 5.3.1 Historie kompozitů

Využití kombinace dvou materiálů bylo poprvé využito (dle nálezů v Izraeli) kolem roku 800 př. n. l. a to vysušené hlíny zpevněné kousky slámy. Z tohoto důvodu bylo možné dosáhnout pevnosti 7 MPa. Dalším nálezem a příkladem mohou být také laminované Mongolské luky, ve kterých docházelo ke kombinaci dřeva, šlach a rohoviny. Dosah tohoto luku byl až 300 m. Také později bylo využito kombinace materiálů a tzv. Damascénské oceli, ve které kombinujeme nízkouhlíkovou a vysokouhlíkovou ocel. [29]

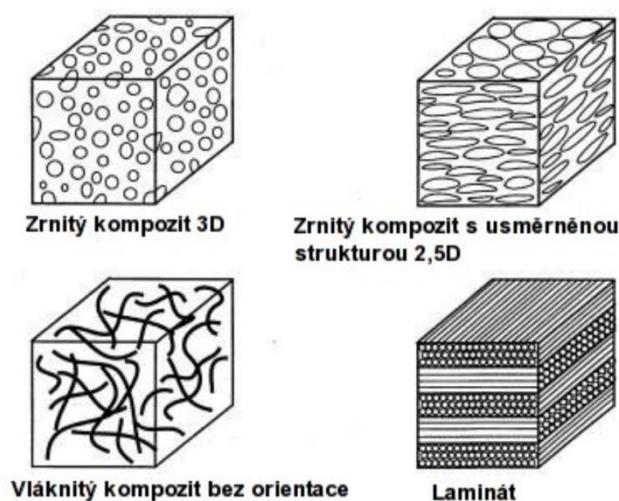


Obr. 5.14 Nůž z Damascénské oceli. [29]

### 5.3.2 Fáze v kompozitu

Kompozit musí obsahovat nejméně jednu spojitou fázi, která ho drží pohromadě – **matrice**. Další fáze, nespojité, které by měly být v kompozitu rovnoměrně rozptýlené, jsou **disperze**. [27,28]

- Matrice – úlohou matrice je spojení vyztužující fáze a přenášení zatížení. Hlavním úkolem je dokonalé obepnutí výztuže, které by mělo vydržet i při prvních poruchách matrice. Slouží také jako ochrana disperze. Důležitá je také smáčivost matrice při tvorbě kompozitů. Pokud nevyužíváme při impregnaci disperze přetlak (sklo, sklokeramika), hrozí špatné obklopení disperzních částic. Reaktoplasty s rozpouštědlem poskytují větší možnosti při impregnaci než běžné epoxidové pryskyřice, jež mají vyšší viskozitu.
- Disperze můžeme dělit dle geometrie:
  - Vlákenná – vlákna nemají ohybovou tuhost, mohou být spojitá – po celé délce výrobku, dlouhá – plně se využije jejich pevnost a nebo krátká – zde nedojde k plnému využití pevnosti
  - Částicová - jednorozměrné jehličky a tyčinky mají ohybovou tuhost, vrstevnaté – například destičky, izometrické – globule
  - Desková – speciální tvar kompozitu, ztrácí se rozdíl mezi matricí a disperzí



Obr. 5.15 3D zobrazení disperzí v matrici. [29]



### 5.3.3 Vláknové kompozity

Tento systém spojuje pevnost vláken s pevností pryskyřice. Jak už bylo zmíněno, konstituenty kompozitních materiálů rozdělujeme do dvou tříd a to na disperované (nespojité) a na matrice (spojité). Podle délky vláken spadají kompozity do podskupin s krátkými vlákny – krátkovláknové, jenž mají poměr délky k průměru  $L/D \leq 100$  a materiály vyztužené dlouhými vlákny – dlouhovláknové s poměrem  $L/D \geq 100$ . Fyzikální a mechanické vlastnosti materiálů se liší druhem a uspořádáním použitých vláken. Právě tyto vláknové kompozity nacházejí značné uplatnění v cyklistickém průmyslu.

Principem vláknového vyztužení je skutečnost, že disperze (vlákna), mající o jeden až dva řády vyšší pevnost a tuhost ve srovnání s pojivem, se při vnějším namáhání deformují méně než matrice. Z tohoto důvodu vznikají smykové síly na rozhraní vlákno/polymer. V ideálním případě poté dochází k přenosu veškerého napětí z nepevné matrice do vláken. Ta jsou schopna nést veškerá napětí působící na kompozitní dílec.

Nejznámější vlákna kompozitů jsou skelná, uhlíková, aramidová, celulózová, whiskery a další.

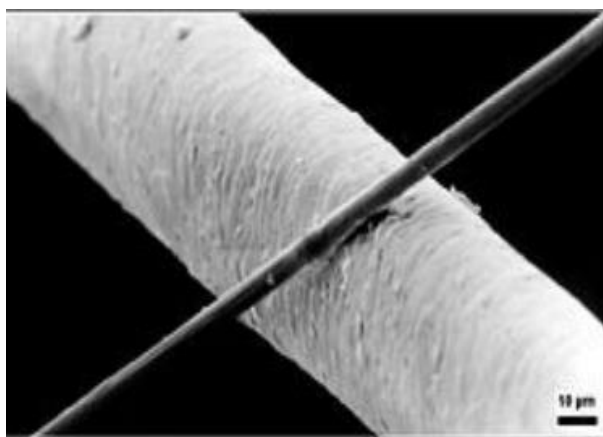
- Skelná vlákna se začala vyrábět počátkem 19. Století. Využití nachází zejména kvůli odolnosti proti ohni a mnoha chemikáliím. Nevýhodou je nízký modul pružnosti, značnou výhodou je ovšem vysoká pevnost v tahu. Vlhkost tuto pevnost snižuje. Odolnost proti trvalému namáhání a oděru je také nízká. Filamenty (jednosměrné svazky) se zpracovávají na tkaniny, které se mohou kombinovat také s vlákny aramidovými a uhlíkovými. Z těchto vláken se také vyrábí izolace proti požáru a ochrana proti působení chemických látek.
- Aramidová vlákna jsou vlákna lineárních makromolekul, jež obsahují funkční amidové skupiny (karbonylová skupina). Řadí se zde například běžně známý silon a nylon. Sloučenina vzniká spojením aromatických struktur na polyamidový řetězec. Aramid byl vyvinut především jako vlákno odolné vysokým teplotám (400 °C). Ještě známějšími mohou být vlákna vyráběna od 70. let pod obchodní značkou Kevlar nebo Twaron, tzv. para-amidy. Mají velmi vysokou pevnost při zachování nízké hmotnosti.
- Whiskery jsou monokrystalická velmi tenká vlákna (tloušťka 1-30 mikronů a délce 0,25-25 mm). Velký význam mají s keramickou matricí a matricí na bázi Al-slitin (B/Al, SiC/Al). Cílem je infiltrace vláken do hliníkových slitin, kdy dochází ke zvýšení pevnosti, únavových vlastností, odolnosti proti tečení (creepu) a další.
- Uhlíkové vlákna budou zmíněny dále v textu. Výsledný kompozitní materiál je vhodný k použití právě v cyklistice.

### 5.3.4 Uhlíkové vláknové kompozity

Uhlíkové vlákno je dlouhý, tenký pramen materiálu o průměru 5-8  $\mu\text{m}$  složeného zejména z atomů uhlíku. Atomy jsou spojeny dohromady v krystaly, jež jsou orientovány paralelně k ose vlákna. Surovinou pro výrobu těchto vláken je tzv. prekurzor.

Výroba probíhá pomocí řízené pyrolýzy. Uhlíkové vlákno zahříváné na vysoké teploty (do 2000  $^{\circ}\text{C}$ ) získává nejvyšší pevnost až 5650 MPa. Pomocí této výroby jsme schopni modifikovat vlákno a vyrobit vlákna s rozdílným modulem pružnosti.

Uhlíkové vlákno je nejvíce používáno k vyztužení kompozitního materiálu – laminátu. Tento laminát se užívá od leteckého průmyslu po ráfky kol. Nepolymerické materiály mohou být použity jako matrice pro uhlíková vlákna. Z důvodu vytváření kovových karbidů (karbid hliníku), špatné smáčivosti a nebezpečí koroze, se uhlíková vlákna v kovových maticích užívají omezeně. [29]



Obr. 5.16 Uhlíkové vlákno 6  $\mu\text{m}$  v porovnání s lidským vlasem. [29]

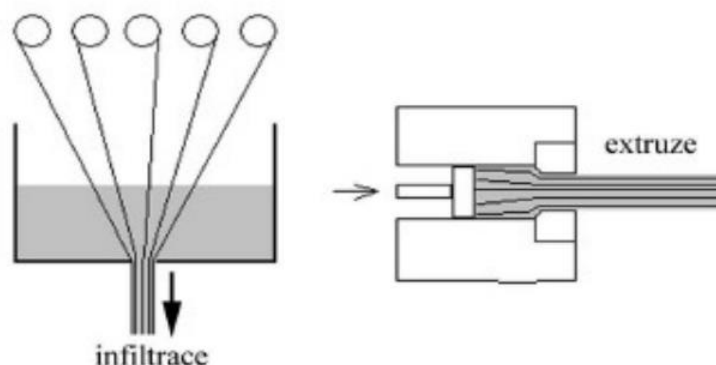
### 5.3.5 Matrice

Mezi základní suroviny pro tvorbu matric patří pryskyřice.

- Epoxidy – vynikající mechanické a elektrické vlastnosti, jsou běžně užívány s uhlíkovými a jinými kvalitními vlákny, mají elektroizolační vlastnosti v široké oblasti funkčních teplot, vysokou odolnost proti roztokům alkálií i kyselin včetně některých rozpouštědel.
- Methyl-methakryláty – upravené epoxidové pryskyřice rozšířeny o prvky sloužící jako retardéry hoření zajišťují ohnivzdornost výrobku.
- Polyestery – nenasycené polyestery jsou využívány zejména v kombinaci se skelnou disperzí. Využívají si do lehce kyselého prostředí. Mají dobré chemické, fyzikální i elektrické vlastnosti.
- Vinylestery – kombinují vlastnosti epoxidů a polyesterových pryskyřic. Je zde zajištěna odolnost v alkalickém i kyselém prostředí. Mají dobrou chemickou odolnost za zvýšených teplot. Maximální provozní teplota je 90 – 150  $^{\circ}\text{C}$ .

### 5.3.6 Výroba kompozitních materiálů

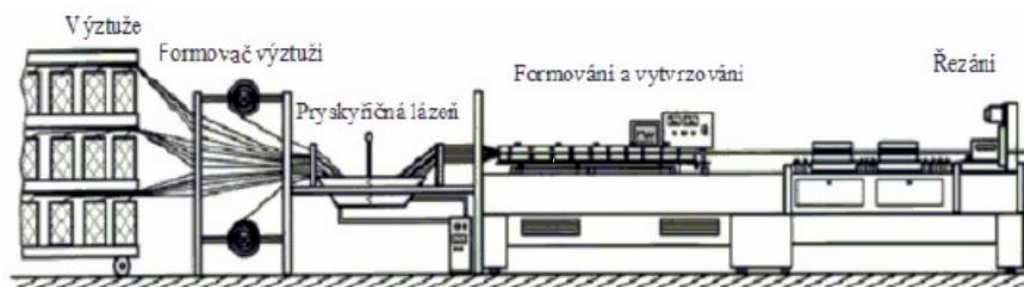
Technologický proces výroby kompozitů se liší v závislosti na matrici a disperzi. Například výroba dlouhoválných kompozitů je proces, při kterém jsou vlákna protahována roztavenou slitinou, přičemž se na nich tvoří vrstva ztuhlé slitiny. Následuje zhutnění svazku vláken, což se provádí například extruzí za tepla.



Obr. 5.17 Výroba dlouhoválných kompozitů. [29]

Výroba kompozitů z B/Al a SiC/Al je lehce odlišná. Při infiltraci vláken roztavenou hliníkovou slitinou je třeba mít už přichystanou preformu. Preforma je těleso tvořené z krátkých vláken, která je následně infiltrována taveninou. K dokonalé infiltraci se používá zvýšení tlaku na preformu.

Jedním z nejdůležitějších technologických procesů výroby kompozitních materiálů je pultruze. Jedná se o kontinuální a automatizovanou metodu uzavřeného tváření. Tato metoda je efektivní pro většinu výroby. Pultrudované profily tvarů pronikly skrz všechny trhy. Jedná se například o tyče, nosníky, pruty atd. Jedná se o tažný proces, při kterém jsou vlákna, později vlákna s pryskyřicí, tažena částmi výrobní linky. K řezání profilu na potřebnou délku se používají řezačky s diamantovým zakončením. [29]



Obr. 5.18 Schéma pultruzní linky. [29]

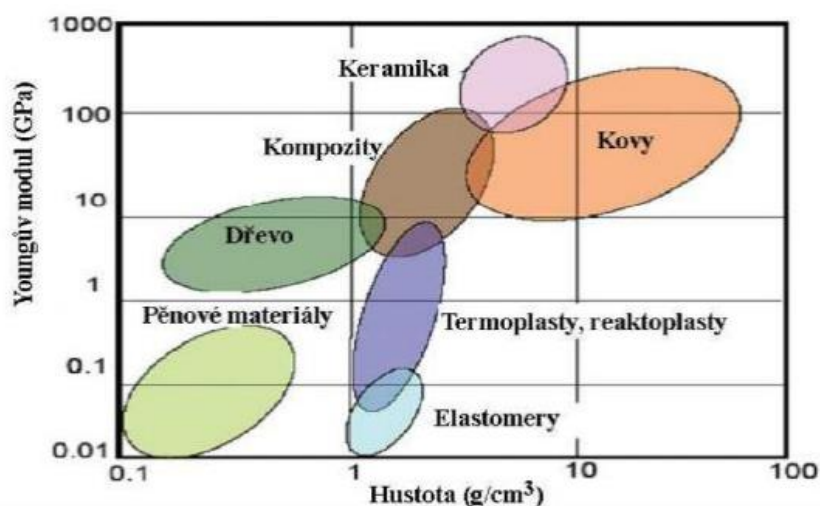
## 6 SROVNÁNÍ

Jak už bylo v úvodní části zmíněno, při volbě materiálu pro ráčky jízdních kol se řídíme několika aspekty. Každý materiál je svým způsobem specifický a má odlišné vlastnosti. Po nadefinování funkčních předpokladů a vhodných materiálů je možné je porovnat. Pro jednotlivé cyklistické disciplíny požadujeme rozdílné funkční vlastnosti (tuhost, nízkou hmotnost), proto se volba materiálu může lišit.



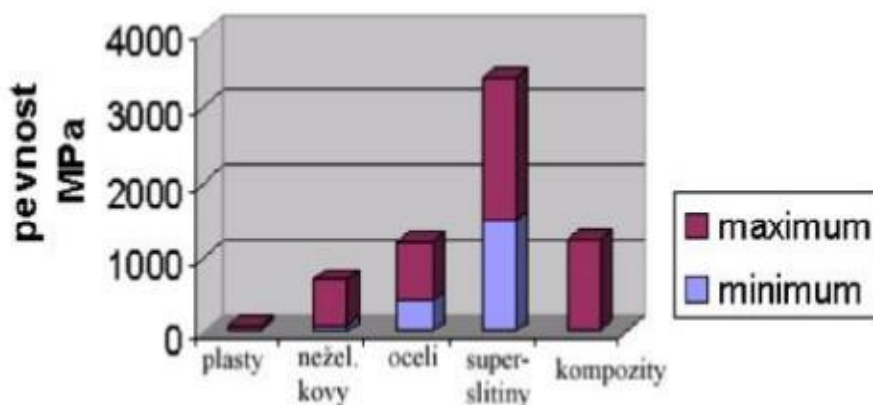
Obr. 6.1 Srovnání materiálů. [27]

Vývoj materiálů stále spěje dále, před pár lety bylo užití kompozitů na ráčky kol výhradou pouze u závodních modelů a mezi nejrozšířenější patřily hliníkové slitiny. Ocel je do jisté míry ve vrcholové cyklistice opomenuta, využití nachází pouze u ráček pro kola dětská a historická. Tento fakt plyne z vysoké měrné hmotnosti oceli.



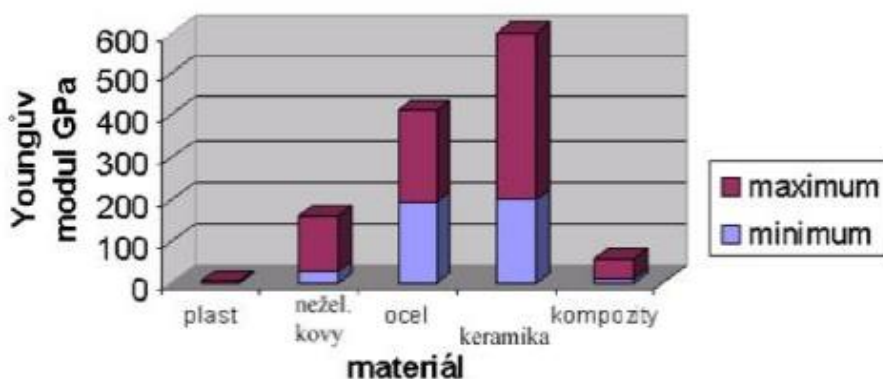
Obr. 6.2 Diagram závislosti Youngova modulu na hustotě. [28]

Kompozitní materiály využívají vysoké pevnosti zároveň se zachováním relativně nízké měrné hustoty. Z tohoto hlediska předčí také slitiny hliníku. Rozhodování ovšem může také ovlivnit pořizovací cena a také úskali kompozitních ráfků. Zde je nevýhodou nízká schopnost brzdného účinku, nutnost užití speciálních brzdných špalků a snížený brzdný účinek v závislosti na klimatických změnách. Tento problém ovšem může vyřešit nástup kotoučových brzd také v silniční cyklistice.



Obr. 6.3 Porovnání pevností materiálů. [28]

Rozdíl mezi ocelí a kompozitními materiály nacházíme zejména v porovnání tuhostí materiálu, vyjádřitelné pomocí Youngova modulu pružnosti. V testech namáhání kompozitní materiály daleko převýší slitiny hliníku a typy ocelí, užívané na ráfky kol. Nevýhodou je ovšem anizotropie kompozitního materiálu, kde se vlastnosti vláken a matrice projevují zejména v hlavním směru.



Obr. 6.4 Porovnání tuhostí materiálů. [28]

Posuzujeme-li hledisko oprav ráfků, nejvýhodněji se jeví kompozitní materiály. Nejedná se o standardní činnost. Opravy kompozitních materiálů jsou technologicky snadnější a při individuální znalosti lehce uskutečnitelné. Hliníkové a ocelové ráfky se neopravují, svařování a lepení by bylo technologicky náročné a také by vznikla teplotně ovlivněná oblast s rizikem vzniku dalšího porušení.

## 7 ZÁVĚR

Vývoj materiálů směřuje nezastavitelně kupředu. Ve dvacátém století byla ocel nejužívanějším materiálem v cyklistice. Průmyslovým využitím zpracování hliníkových slitin došlo k nahrazení původně používané oceli. S nástupem hliníkových slitin, bylo u výrobků dosaženo obdobných vlastností, jenž měla ocel, avšak docíleno nižší hmotnosti. S ohledem na výše uvedené vlastnosti si našly slitiny hliníku uplatnění napříč širokým spektrem strojírenských výrobků. Nepřetržitě se setkáváme s novými materiály, jejichž funkční, mechanické a chemické vlastnosti převyšují dosavadně užívané materiály.

V současnosti je trendem nahrazovat hliníkové slitiny kompozitními materiály, které zažívají obrovský boom, a je podporován jejich vývoj. Kompozitní materiály nacházejí uplatnění v různých průmyslových odvětvích vzhledem ke skutečnosti, že jejich primární vlastností je vysoká pevnost a současně velmi nízká měrná hustota. Tyto materiály byly prvotně vyvinuty pouze pro úzce specializované účely. Například hliníkové slitiny – duraluminia byly původně vyráběny pro astronomické účely, jiné speciální uplatnění si našly kompozitní materiály v balistickém průmyslu a ochraně. Zde se využívá kombinace oceli, keramiky, plastu a výbušnin v sendvičové struktuře.

I přes všechny vynikající vlastnosti kompozitních materiálů, je jejich výrobní cena limitujícím faktorem pro široké uživatelské uplatnění na trhu. Vzhledem ke skutečnosti, že standardní zákazník hledá vždy optimální vyvážení kvalitních užitných vlastností a pořizovacích nákladů, jsou na výrobu ráfků kol uplatňovány zejména hliníkové slitiny. Jedná se prozatím o nejvíce rozšířený materiál pro ráfky jízdních kol. Je velmi pravděpodobné, že postupem času a hledáním nových příležitostí a možností v technologických a výrobních procesech budou hliníkové slitiny nahrazeny masově kompozitními materiály. Pokrok a vývoj jde trvale dopředu současně se zvyšováním nároků trhu na užitné vlastnosti materiálů.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠÁLY, P. *Volba materiálu pro rámy jízdních kol*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 51 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.
2. ASHBY, M. F. *Materials Selection in Mechanical Design*. 3rd ed. Oxford, Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005. 603 s., ISBN 0-7506-6168-2
3. Bicycle Wheel. "Bicycle Wheel" *Wikipedia: The Free Encyclopedia*. Wikimedia Foundation, Inc. 2 July 2012, 4 Jul. 2012, [http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle\\_wheel](http://en.wikipedia.org/wiki/Bicycle_wheel)
4. BRANDT, Jobst. 1993. *The bicycle wheel*. 3rd ed. Palo Alto, Calif., USA: Avocet. ISBN 09-607-2366-8.
5. *Finite Element Analysis of a Bicycle Wheel: The Effects of the Number of Spokes on the Radial Stiffness* [online]. 2012. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: <http://www.ewp.rpi.edu/hartford/~ngj2/MPROJ/Other/Final%20Draft/FinalDraft.pdf>
6. *BUYER'S GUIDE TO BICYCLE WHEELSETS* [online]. 2014. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://wheelworld.com/articles/buyers-guide-to-bicycle-wheelsets-pg196.htm>
7. *Wheelbuilding: Rims* [online]. 2011. [cit. 2015-04-15]. Dostupné z: <http://sheldonbrown.com/wheelbuild.html#rims>
8. BURGOYNE, C.J. & R. Dilmaghanian. "Bicycle Wheel as Prestressed Structure." *Journal of Engineering Mechanics* 119 (3). (1993): 439-455. Pdf.
9. DRÁPALA, Jaromír. 2008. *Metalurgie čistých kovů* [online]. Ostrava [cit. 2015-05-01]. Dostupné z: <http://www.fmfi.vsb.cz/export/sites/fmfi/cs/studium-a-vyuka/studijni-opory/637-Drapala-Metalurgie-cistych-kovu.pdf>. STUDIJNÍ OPORTA . VŠB.
10. *Aluminium alloy* – *Wikipedia, the free encyclopedia* [online]. 22.04.2009 [citované dne 2015-04-22]. Dostupné z: [http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium\\_alloy](http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_alloy)
11. HUDEC, J. *Využití slitin hliníku v cyklistickém průmyslu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 35s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Karel Němec, Ph.D.
12. *Tepelné zpracování hliníkových slitin* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_tepelne\\_zprac\\_hlin\\_sl/index.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_tepelne_zprac_hlin_sl/index.htm)
13. *Tepelné zpracování hliníkových slitin* [online]. [cit. 2015-04-013]. Dostupné z: [http://www.dynaox.com/solution\\_en/2012/10/selecting-the-right-aluminum-material.html](http://www.dynaox.com/solution_en/2012/10/selecting-the-right-aluminum-material.html)
14. *Selecting the right Aluminum material* [online]. 2010. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://www.dynaox.com/solution\\_en/2012/10/selecting-the-right-aluminum-material.html](http://www.dynaox.com/solution_en/2012/10/selecting-the-right-aluminum-material.html)
15. *8xxx Series Alloys* [online]. 2010. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://aluminium.matter.org.uk/content/html/eng/default.asp?catid=214>

16. *Technical Specification* [online]. 2015. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://www.wilsonsmetals.com/datasheets/Aluminium-Alloy\\_L168-T6511-2014A-Bar\\_23.aspx](http://www.wilsonsmetals.com/datasheets/Aluminium-Alloy_L168-T6511-2014A-Bar_23.aspx)
17. *Technology inovation in aluminium products* [online]. 2001. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: <http://www.tms.org/pubs/journals/jom/0102/sanders-0102.html>
18. *Understanding Extruded Aluminium Alloys: Alloy 6063* [online]. 2014. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://web.archive.org/web/20031006212043/http://www.alcoa.com/adip/catalog/pdf/Extruded\\_Alloy\\_6063.pdf](http://web.archive.org/web/20031006212043/http://www.alcoa.com/adip/catalog/pdf/Extruded_Alloy_6063.pdf)
19. *Aluminum and aluminum alloys*. 1993. Materials Park, OH: ASM International, iii, 784 p. ISBN 08-717-0496-X.
20. *Allcoa Mill products: Alloy 7075* [online]. 2014. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://www.alcoa.com/mill\\_products/catalog/pdf/alloy7075techsheet.pdf](http://www.alcoa.com/mill_products/catalog/pdf/alloy7075techsheet.pdf)
21. Degarmo, E. Paul; Black, J T.; Kohser, Ronald A. (2003). *Materials and Processes in Manufacturing* (9th ed.). Wiley. p. 133. ISBN 0-471-65653-4.
22. Ptáček, L. a kol.: *Nauka o materiálu I*. Akademické nakladatelství CERM, Brno, 2001, (2. opravené a doplněné vydání 2003)
23. Callister, W.D., Jr.: *Materials Science and Engineering. An Introduction*. John Wiley & Sons, Inc., 6th ed., 2003
24. *Tepelné zpracování ocelí* [online]. 2009. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm\\_tepelne\\_zprac\\_oceli/teorie2.htm](http://old.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_tepelne_zprac_oceli/teorie2.htm)
25. *Označování materiálů podle evropských norem* [online]. 2011. [cit. 2015-05-02]. Dostupné z: [http://ateam.zcu.cz/evropske\\_normy.pdf](http://ateam.zcu.cz/evropske_normy.pdf)
26. *Číselné značení ocelí* [online]. 2011. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.isstechn.cz/objekty/Ciselne-znacen-oceli-dle-Csn.pdf>
27. *Kompozitní materiály: definice a rozdělení* [online]. 2008. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady\\_kmt\\_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defroz d.pdf](http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/KM/Kompozity%20Dad/02defroz d.pdf)
28. *Kompozitní materiály: přehled* [online]. 2013. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: <http://www.pf.jcu.cz/structure/departments/kaft/wp-content/uploads/Kompozitní-materiály.pdf>
29. *Kompozitní materiály: oddělení povrchového inženýrství pro předmět SMA* [online]. 2013. [cit. 2015-05-05]. Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/download/kompozity09\\_10.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/kompozity09_10.pdf)
30. [http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/339/.content/files/VZM14\\_VolbaMaterialu.pdf](http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/339/.content/files/VZM14_VolbaMaterialu.pdf) [cit. 2015-05-05]
31. <[http://www.on-one.co.uk/i/q/CBOO45650BX01/on-one-45650b-sram-x01-mountain-bike\\_](http://www.on-one.co.uk/i/q/CBOO45650BX01/on-one-45650b-sram-x01-mountain-bike_)> [cit. 2015-05-05]
32. <<http://www.ctc.org.uk/cyclists-library/bikes-and-other-cycles/cycle-styles/touring-bike>> [cit. 2015-05-05]



33. <<http://www.transkol.cz/media/content-images/product/6529.jpg>> [cit. 2015-05-05]
34. <<http://www.cyklostore.cz/files/silnice-dily/zapletena-kola/spinollo/vyplet-spinollo.jpg>> [cit. 2015-05-05]
35. <<http://imse.fme.vutbr.cz/index.php/cs/studium/podklady-pro-vyuku-zimni-semestr> > [cit. 2015-05-05]
36. <[http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP\\_STROJ\\_ST9\\_001\\_003.jpg](http://uvp3d.cz/drtic/wp-content/uploads/2014/07/UvP_STROJ_ST9_001_003.jpg) > [cit. 2015-05-05]

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
$\mu\text{m}$	$[\mu\text{m}]$	Mikrometr
3D	[-]	Tří dimenzionální
ARA	[-]	Anizotermický rozpad austenitu
CNC	[-]	Computer numeric control
ČSN	[-]	Česká státní norma
HS	[-]	High speed
IRA	[-]	Izotermický rozpad austenitu
m	[m]	Metr
MKP	[-]	Metoda konečných prvků
mm	[mm]	Milimetr
mtb	[-]	Mountain bike
obr.	[-]	Obrázek
př.n.l.	[rok]	Před naším letopočtem
tzv.	[-]	Takzvané
viz.	[-]	Uvedeno v textu

Symbol	Jednotka	Popis
$\rho$	$[\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}]$	Hustota
E	[GPa]	Modul pružnosti
F	[N]	Síla
L/D	[-]	Poměr délky k průměru
$R_m$	[MPa]	Mez pevnosti
$R_{p0.2}$	[MPa]	Smluvní mez kluzu

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1	SEZNAM TABULEK
Příloha 2	SEZNAM OBRÁZKŮ

## **PŘÍLOHA 1**

### **SEZNAM TABULEK**

Tab. 1 Přehled tepelného zpracování hliníku.

Tab. 2 Třídění slitin hliníku se základní charakteristikou.

Tab. 3 Dodatková značení zpracování hliníkových slitin.

## **PŘÍLOHA 2**

### **SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1.1 Jeden z přístupů volby materiálu.

Obr. 1.2 Ashbyho diagram závislosti modulu pružnosti na měrné hmotnosti.

Obr. 2.1 horské kolo značky On-One 45650b.

Obr. 2.2 kolo značky Trek pod firemním označením Touring bike.

Obr. 3.3 - Cyklistické zapletené kolo.

Obr. 3.4 Rozteč pro přírubu.

Obr. 3.5 Zadní náboj s rychloupínákem.

Obr. 3.6 Ukázka tvarů drátů firmy DT Swiss, modely (zleva) Champion, Comp, New Aero.

Obr. 3.7 Svazování výpletu.

Obr. 3.8 Rozdělení ráfků a možné tvary.

Obr. 3.9 Schéma technologického procesu firmy Fulcrum při výrobě zapletených kol modelu Zero.

Obr. 4.1 Napěťová analýza ráfku s 28, 32 a 36 dráty vytvořená v MKP programu.

Obr. 4.2 Příklady kolapsu a zhroucení kola.

Obr. 4.3 Zobrazení cyklického namáhání ráfku s funkčními oblastmi.

Obr. 5.1 Rozdělení hliníkových slitin, 1 – slévarenské slitiny, 2 – slitiny určené k tváření, 3 – precipitačně vytvrditelné slitiny, 4 – precipitačně nevytvrditelné slitiny.

Obr. 5.2 Ukázka stárnutí hliníkové slitiny AlCu4Mg.

Obr. 5.3 – Rozdělení prvků ve slitinách železa

Obr. 5.4 Návaznost při legování.

Obr. 5.5 Vliv prvků na tvrdost a pevnost feritu.

Obr. 5.6 Třídy ocelí.

Obr. 5.7 Schéma tepelného zpracování (1 – ohřev, 2 – výdrž na teplotě, 3 – ochlazování).

Obr. 5.8 Oblasti žíhacích teploty diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C: A) žíhání ke snížení pnutí, B) rekrystalizační, C) na měkko, D) normalizační, E) homogenizační. [24]

Obr. 5.9 Schéma zušlechťovacího procesu.

Obr. 5.10 Pásmo kalících teplot.

Obr. 5.11 Rozdělení ocelí k tváření.

Obr. 5.12 Ukázka z materiálových listů firmy AZCU.

Obr. 5.13 Zobrazení synergického efektu při vložení hliníkové pěny (kompozit) do hliníkové trubky ke zvýšení odolnosti tlakovému namáhání.

Obr. 5.14 Nůž z Damascénské oceli.

Obr. 5.15 3D zobrazení disperzí v matrici.

Obr. 5.16 Uhlíkové vlákno 6  $\mu\text{m}$  v porovnání s lidským vlasem.

Obr. 5.17 Výroba dlouhoválnových kompozitů.

Obr. 5.18 Schéma pultruzní linky.

Obr. 6.1 Srovnání materiálů.

Obr. 6.2 Diagram závislosti Youngova modulu na hustotě.

Obr. 6.3 Porovnání pevností materiálů.

Obr. 6.4 Porovnání tuhostí materiálů.